

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí

Železobetonová konstrukce výrobní haly

Reinforced concrete structure of production hall

Student:

Bc. Vojtěch Černý

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Pavlína Matečková, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Vojtěch Černý**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb
Téma: **Železobetonová konstrukce výrobní haly**
Reinforced concrete structure of production hall
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je návrh a posouzení železobetonových nosných konstrukcí výrobní haly a administrativní budovy. Výrobní hala je bez jeřábové dráhy.

V rámci diplomové práce se provede v softwaru na bázi MKP model železobetonových nosných konstrukcí.

Budou vyhodnoceny vnitřní síly a nadimenzovány průřezy vodorovných, svislých a základových železobetonových konstrukcí.

Výpočet bude doplněn o výkresy výztuže navržených železobetonových konstrukcí.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN EN 1991 Eurokód 1: Zatížení stavebních konstrukcí.


ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí, Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

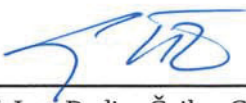
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Pavlína Matečková, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2018

Datum odevzdání: 30.11.2018


doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 30. 11. 2018

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o diplomovou práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 30. 11. 2018

.....

Podpis studenta

Anotace

Cílem diplomové práce je návrh a posouzení železobetonových nosných konstrukcí výrobní haly a administrativní budovy. Výrobní hala je bez jeřábové dráhy. V rámci diplomové práce bude provedeno v softwaru na bázi MKP model železobetonových nosných konstrukcí. Budou vyhodnoceny vnitřní síly a nadimenzovány sloupy, vazníky, průvlaky, stropní trámy a základové piloty. Návrh bude doplněn o výkresy výztuže navržených železobetonových konstrukcí.

Klíčová slova

Železobeton, skeletový systém, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti, metoda konečných prvků, analýza druhého řádu

Annotation

The subject of the master thesis is the design and evaluate of reinforced concrete structures of production hall and administrative building. There is no crane runway in production hall. The aim is to elaborate model of construction in finite element method-based software of reinforced concrete load bearing structures. Designed and evaluated elements are columns, truss, girders, ceiling beams and foundation piles. Design is completed with drawings of reinforcement and shape of the structures.

Key words

Reinforced concrete, skeleton system, ultimate limit state, finite element method, second order analysis.

Poděkování

Děkuji vedoucí diplomové práce Ing. Pavlíně Matečkové, Ph.D., za její vstřícnost, zájem a ochotu. Vážím si jejího odborného přístupu a bohatých zkušeností s řešenou problematikou.

Obsah

1.	Úvod	7
2.	Technická zpráva	8
2.1.	Administrativní budova	8
2.1.1.	Popis budovy	8
2.1.2.	Založení objektu	8
2.1.3.	Nosná konstrukce	8
2.2.	Výrobní hala	9
2.2.1.	Popis budovy	9
2.2.2.	Založení objektu	9
2.2.3.	Nosná konstrukce	9
3.	Teoretická část	11
3.1.	Typy železobetonových prefabrikovaných hal	11
3.2.	Analýza účinků druhého řádu s normálovým zatížením	11
4.	Zatížení	13
4.1.	Zatížení klimatické	13
4.1.1.	Zatížení sněhem [8]	13
4.1.2.	Zatížení navátým sněhem na SO02[8]	14
4.1.3.	Zatížení větrem [9]	15
4.1.3.1.	Zatížení větrem – SO 02	15
4.1.3.2.	Zatížení větrem – SO 03	18
4.2.	Zatížení stálé [7]	21
4.2.1.	Zatížení stálé – SO02	21
4.2.1.1.	Střešní plášť	21
4.2.1.2.	Stropní konstrukce	21
4.2.1.3.	Svislé konstrukce	22
4.2.2.	Zatížení stálé – SO03	22
4.2.2.1.	Střešní plášť	22
4.2.2.2.	Stropní konstrukce	22
4.3.	Zatížení užité [7]	23
4.3.1.	Zatížení užité – SO02	23
4.3.2.	Zatížení užité – SO03	23
5.	Zatěžovací stavy	24
5.1.	Zatěžovací stavy – SO02	24
5.2.	Zatěžovací stavy – SO03	26
6.	Model konstrukce	28
7.	Návrh výztuže a statické posouzení	30

7.1. Materiálové charakteristiky	30
7.2. Návrh a posouzení prvků SO03	31
7.2.1. Sloup	31
7.2.1.1. Metoda založená na jmenovité tuhosti	35
7.2.1.2. Metoda založená na jmenovité křivosti	36
7.2.1.3. Vnitřní síly	37
7.2.1.4. Interakční diagram	38
7.2.1.5. Dvousé namáhání ohybem	41
7.2.1.6. Příčná výztuž	43
7.2.1.7. Posouzení pro manipulaci	43
7.2.1.8. Konstrukční zásady	45
7.2.2. Vazník	47
7.2.2.1. Návrh a posouzení hlavní nosné výztuže	48
7.2.2.2. Návrh a posouzení smykové výztuže	49
7.2.2.3. Mezní stav přetvoření	50
7.2.2.4. Konstrukční zásady	51
7.2.3. Průvlak	54
7.2.3.1. Návrh a posouzení hlavní nosné výztuže	55
7.2.3.2. Návrh a posouzení smykové výztuže	56
7.2.3.3. Konstrukční zásady	56
7.2.4. Stropní nosník	59
7.2.4.1. Návrh a posouzení hlavní nosné výztuže	60
7.2.4.2. Návrh a posouzení smykové výztuže	61
7.2.4.3. Konstrukční zásady	62
7.3. Návrh a posouzení prvků SO02	65
7.3.1. Sloup	65
7.3.1.1. Vnitřní síly	67
7.3.1.2. Interakční diagram	67
7.3.1.3. Dvousé namáhání ohybem	70
7.3.1.4. Příčná výztuž	71
7.3.1.5. Konstrukční zásady	71
7.3.2. Vazník	73
7.3.2.1. Návrh a posouzení hlavní nosné výztuže	74
7.3.2.2. Návrh a posouzení smykové výztuže	75
7.3.2.3. Konstrukční zásady	75
7.3.3. Průvlak	78
7.3.3.1. Návrh a posouzení hlavní nosné výztuže při horním okraji	79

7.3.3.2.	Návrh a posouzení hlavní nosné výztuže při dolním okraji	80
7.3.3.3.	Návrh a posouzení smykové výztuže	81
7.3.3.4.	Konstrukční zásady	81
7.3.4.	Piloty [10]	84
8.	Závěr	85
9.	Zdroje.....	86
10.	Seznam příloh	88

Seznam použitého značení

A	Plocha prvku
A_s	Plocha výztuže
$A_{s,min}$	Minimální plocha výztuže
$A_{s,max}$	Maximální plocha výztuže
C_e	Součinitel expozice
C_t	Tepelný součinitel
$F_{adh,n}$	Normová hodnota přilnavosti dílce
F_s	Síla ve výztuži
G_n	Normová hodnota tíhy dílce
I_v	Intenzita turbulence
I_y	Moment setrvačnosti
K	Součinitel zohledňující různé nosné systémy
M_{0Ed}	Moment prvního řádu
M_{0Eqp}	Moment prvního řádu pro kvazistálé kombinace
b	Šířka
c	Krytí
c_0	Součinitel ortografie
c_{dir}	Součinitel směru větru
c_{min}	Minimální krytí
$c_{pe,10}$	Součinitel vnějšího tlaku
$c_{pi,10}$	Součinitel vnitřního tlaku
c_r	Součinitel drsnosti terénu
c_{season}	Součinitel ročního období

d	Účinná výška
f_b	Kotevní pevnost
f_{cd}	Návrhová pevnost betonu v tlaku
f_{ck}	Charakteristická pevnost betonu v tlaku
$f_{ctk0,05}$	5% kvantil charakteristické pevnosti betonu v dostředném tahu
f_{ctm}	Průměrná hodnota pevnosti betonu v dostředném tahu
f_{yd}	Návrhová pevnost oceli
q_p	Charakteristický maximální dynamický tlak
i_y	Poloměr setrvačnosti
s	Vzdálenost prutů výztuže
s_k	Charakteristická hodnota zatížení sněhem
s_{max}	Maximální vzdálenost výztuže
s_{min}	Minimální vzdálenost výztuže
$s_{r,max}$	Maximální vzdálenost rozdělovací výztuže
$v_{b,0}$	Výchozí základní rychlost větru
v_m	Charakteristická střední rychlost větru
x	Výška tlačené oblasti
z	Výška objektu
z_0	Součinitel drsnosti terénu
$z_{0,II}$	Součinitel drsnosti terénu kategorie II
z_{min}	Minimální výška objektu
γ_c	Materiálový součinitel betonu
γ_g	Součinitel zatížení pro vlastní tíhu
γ_{man}	Součinitel působení dílce

γ_s	Materiálový součinitel oceli
Δc_{dev}	Přídavek pro návrhovou odchylku
ε_c	Poměrné přetvoření betonu při dosažení max. pevnosti
ε_{cu}	Mezní přetvoření betonu
θ_0	Základní hodnota geometrické imperfekce
λ	<i>Štíhlost</i>
μ_l	Tvarový součinitel zatížení sněhem
$v_{adh,n}$	Přilnavost dílce k podložce
ρ	Požadovaný stupeň vyztužení tahovou výztuží
ρ_0	Referenční stupeň vyztužení
ρ'	Požadovaný stupeň vyztužení tahovou výztuží
ν	Poissonův součinitel
$\varphi_{(\infty;t0)}$	Konečný součinitel dotvarování
φ_{ef}	Účinný součinitel dotvarování

1. Úvod

Cílem diplomové práce je řešení prefabrikovaných železobetonových sloupů, vazníků, průvlaků, stropních trámů a monolitických železobetonových pilot na objektu výrobní haly a administrativní budovy CALTEX v Karviné. Jako předloha k řešení byl použit návrh budovy projekční kanceláří Arpik Ostrava, s.r.o. Na konstrukci je určeno zatížení, které působí na navrhované prvky. Je vytvořen jejich 3D model v programu SCIA [1] a staticky navrhnuty a posouzeny jejich prvky. Tento návrh je doplněn o výkresy výztuže a výkresy tvaru vybraného prvku od každého typu.

2. Technická zpráva

2.1. Administrativní budova

2.1.1. Popis budovy

Dvoupodlažní nepodsklepený objekt o základním rozměru 48 m x 14,7 m o výšce atiky 9,5 m od ± 0 , je navržený jako konstrukční dvojtrakt, železobetonový skelet, s vyzdívkami vnitřních dělicích stěn, zděnými a sádkartonovými příčkami a zděnými a montovanými obvodovými stěnami. Obvodový plášť je navržen sendvičový s pásovými okny a prosklenou stěnou. Zastavěná plocha administrativní budovy je 710 m².

2.1.2. Založení objektu

Objekt není podsklepen, založení je provedeno jako hlubinné. Sloupy založeny na pilotových základech s patkou opatřenou kalichy pro vetknutí sloupů. Patky jsou založeny na do nich vetknutých velkopřůměrových vrtaných pilot. Základové trámy pod vnější částí fasády jsou sendvičové s nosnou stěnou 150 mm, tepelnou izolací 100 mm a moniérkou 70 mm. Horní hrana základových trámů je na úrovni ± 0 , spodní hrana na -0,90. Základové trámy pod vnitřní obvodovou zdí jsou plně železobetonové průřezu 200/750. Všechny základové trámy jsou uloženy na kalichy sloupů.

2.1.3. Nosná konstrukce

Administrativní budova je dvoupodlažním objektem. Konstrukčně je navržena jako železobetonový prefabrikovaný skelet s příčnými rámy spojenými obvodovými ztužidly. Sloupy mají průřez 450/450 mm a jsou po výšce dělené. V patě jsou sloupy vetknuty do kalichů hlavic pilotového založení. Na trny vyčnívající ze sloupů 1.NP se osadí průvlaky. Sloupy 2.NP jsou v patě opatřeny ocelovou botkou, která se přivaří k trnům vyčnívajícím ze spodního sloupu (tzv. Čapkův spoj). Průvlaky jsou spojitě Gerberovy nosníky se stykem na ozub ve třetině rozpětí pole. Mají průřez o rozměrech 450/600, na liniových konzolách

průvlaků jsou uloženy panely Spiroll výšky 200 mm a celá stropní konstrukce je zmonolitněna železobetonovou membránou tloušťky 50 mm. Střešní nosníky mají obdélníkový průřez 200/500 mm a jsou osazeny na trny do vidlic sloupů. Prefabrikované prvky střechy jsou ukládány na elastomerová ložiska a staticky působí jako prosté nosníky.

2.2. Výrobní hala

2.2.1. Popis budovy

V centrální poloze v uspořádání výrobního závodu je situována výrobní hala o vnějších rozměrech 49,35 m x 66,15 m o výšce atiky 18,15 m od ± 0 , konstrukčně navržená jako železobetonový skelet s uspořádáním hlavních sloupů v modulu 6 m x 24 m, s betonovými vazníky na rozpon 24 m s rovnou střechou. Vnitřní uspořádání výrobní haly je přizpůsobeno výrobní technologii. Ve výrobní hale jsou vestavěny v části půdorysu dvě vnitřní patra, a to s podlahou na úrovni + 5,80 m a + 9,00 m a dvě meziúrovně na 3,75 m a +7,20 m.

2.2.2. Založení objektu

Sloupy jsou založeny na pilotových základech s patkou opatřenou kalichy pro vetknutí sloupů. Patky jsou založeny na dvojici do nich vetknutých velkopřůměrových vrtaných pilot. Základové trámy pod obvodovým fasádním pláštěm jsou sendvičové se skladbou 150+100+70 mm, s horní hranou na +0,30, spodní hranou na -0,90, jejich výška je tedy 1200 mm. Pod dělicí sádkartonovou stěnou mezi skladem výrobků a výrobní halou je navržen masivní železobetonový základový práh obdélníkového průřezu 200/750 s horní hranou na -0,15.

2.2.3. Nosná konstrukce

Konstrukce výrobní haly je dvojpodlažní. Příčné vazby tvoří vnější rámy o dvou polích s kloubově uloženými vazníky o rozpětí 24,0 m. V části jsou umístěny vestavky se stropy na

úrovních +3,75, +5,80, +7,20 a +9,00. Vazníky jsou sedlové s průřezem tvaru I. Horní příruba má sklon 3,33 %. Výška vazníku v uložení je 1300 mm, ve vrcholu 1700 mm. Spodní hrana vazníku v uložení je na kótě +18,62. Vazníky jsou ukládány na trny do vidlic sloupů. Střecha je po obvodu lemována štítovými trámy a ztužidly průřezu 200/450 mm. Sloupy jsou vetknuté do kalichů v hlavicích pilot. Průřez sloupů, které jsou zatíženy vazníky, rohových sloupů a obvodových sloupů mají průřez 750/850 mm. Zbývající štítové sloupy mají průřez 450/650 mm. Pro omezení vodorovných deformací je ve střešní rovině navrženo ocelové zavětrování s žárovou zinkovou povrchovou úpravou. Střední sloupy jsou pak v hlavě rovněž propojeny ocelovými žárově zinkovanými profily. Uvažuje se s opřením hlavy sloupů do zavětrovacích nosníků v krajních polích střechy podél štítu. Zavětrovací nosník je příhradový nosník tvořený sloupy v krajních polích, železobetonovými vazníky v prvních vnitřních polích a ocelovými profily. Pro stropy vestavek jsou využívány hlavní sloupy haly a dále další vložené sloupy průřezu 750/750 mm. Stropy na úrovni +5,80 a +9,00 m pro technologická zařízení jsou trémové, prefabrikované. Průvlaky se ukládají na sloupy ve směru číselných os. Jejich celkový průřez činí 500/1000 mm. Výška prefabrikované části průvlaku je 870 mm, 130 mm tvoří železobetonová deska složená z prefabrikované desky tloušťky 50 mm spřažené s monolitickou nabetonávkou tloušťky 80 mm. Na průvlaky se na liniové konzoly průřezu 250/250 mm ukládají trámy celkového průřezu 250/650 mm. Prefabrikovaná část trámů má výšku 520 mm, zbývající část tvoří spřažená deska tloušťky 130 mm, složená z prefabrikované desky tloušťky 50 mm a monolitické nabetonávky tloušťky 80 mm. Při montáži se po uložení prefabrikovaných filigránových desek tl. 50 mm na trámy a průvlaky celá stropní deska dovyztuží uložním horní výztuží a zmonolitní nabetonávkou tloušťky 80 mm.

3. Teoretická část

3.1. Typy železobetonových prefabrikovaných hal [11]

Prefabrikovaných železobetonových konstrukcí se využívá hlavně u průmyslových objektů, ale také u skladovacích a obchodních. Jejich výhoda, jako prefabrikátů, spočívá hlavně v rychlosti a ekonomičnosti výstavby, a to díky modulové koordinaci. K dalším výhodám také patří jejich vyšší jakost nebo estetičnost. Jejich nevýhodou oproti monolitickým stavbám je nižší tuhost a složitější logistika. Právě nižší tuhost je způsobena stykováním prvků až na stavbě, často umožňují vzájemné pootočení dílců. Rozeznáváme čtyři typy styků, a to dle možnosti vzájemné deformace dílců.

- Kloubový styk – momenty, které vznikají v tomto styku, jsou zanedbatelné, nebo nulové, po odlehčení se vrací do původní polohy. Speciálním typem tohoto styku je posuvný styk, kdy vzniká pouze reakce kolmá k podložce.
- Pružný styk – při zatížení nastává u dílců vzájemné pootočení. Úhel potočení je většinou považován, jako přímo úměrný k momentu působícímu v místě styku.
- Tuhý styk – styk shodný s chováním monoliticky spojené konstrukce, prvky ve styku mají nulové vzájemné pootočení.

3.2. Analýza účinků druhého řádu s normálovým zatížením [6]

Účinky druhého řádu jsou účinky zatížení vzniklé deformací konstrukce. Pokud tyto účinky výrazně ovlivňují chování nosné konstrukce, je nutno je započítat. Při výpočtu je také zahrnut vliv trhlin, nelineárních materiálových vlastností a dotvarování. Účinky lze zanedbat, pokud jsou nižší, než 10 % odpovídajících účinků prvního řádu, nebo vyhovují-li zjednodušeným kritériím pro účinky druhého řádu. Pokud je štíhlost prutu menší než štíhlost limitní, prvek je uvažován jako masivní a účinky druhého řádu lze zanedbat. Analýzu štíhlého prvku lze řešit obecnou metodou – nelineární analýzou na vhodném modelu, nebo zjednodušenými metodami. Nelineární analýza obecnou metodou používá vhodné pracovní diagramy betonu a výztuže a uvažuje účinky dotvarování. Metoda založená na jmenovité tuhosti je metoda zjednodušené analýzy, při které se použijí hodnoty jmenovitých tuhostí.

Jmenovitá tuhost zohledňuje účinky trhlin, materiálových nelinearit a dotvarování. Metoda je vhodná pro výpočet osamělých prvků i celých konstrukcí, pokud jsou vhodně zvoleny jmenovité tuhosti. Metoda založená na jmenovité křivosti stanovuje moment druhého řádu na základě maximální křivosti a účinné délky prvku. Metoda je vhodná pro osamělé prvky, při správném odhadu křivosti lze použít i pro celé konstrukce

4. Zatížení

4.1. Zatížení klimatické

4.1.1. Zatížení sněhem [8]

II. sněhová oblast

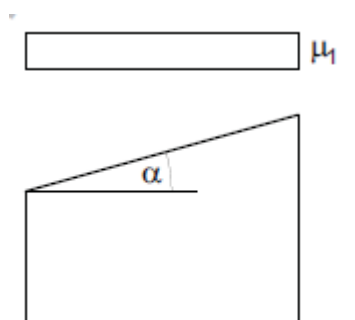
$$s = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

$$C_e = 1,0$$

$$C_t = 1,0$$

$$\mu_l = 0,8$$

$$s_{k1} = \mu_l \times C_e \times C_t \times s_k = 0,8 \times 1 \times 1 \times 1 = 0,8 \text{ kN/m}^2 \quad (4.1.1.1)$$



Obr. 1 Určení tvarového součinitele pro sníh na plochých střechách

4.1.2. Zatížení navátým sněhem na SO02[8]

$$\mu_s = 0$$

$$b_1 = 49,19 \text{ m}$$

$$b_2 = 14,7 \text{ m}$$

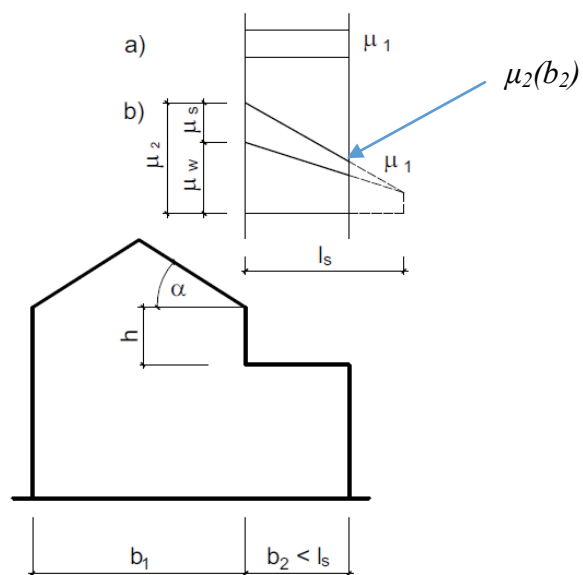
$$h = 8,65 \text{ m}$$

$$l_s = 14,7 \text{ m}$$

$$\mu_w = \mu_2 = \frac{b_1 + b_2}{2 \times h} = \frac{49,19 + 14,7}{2 \times 8,65} = 3,693 \quad (4.1.2.1)$$

$$s_{k2} = 3,693 \text{ kN/m}^2$$

$$s_k(b_2) = 1,355 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 2 Určení tvarového součinitele pro navátý sněh

4.1.3. Zatížení větrem [9]

4.1.3.1. Zatížení větrem – SO 02

II. větrná oblast

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

$$c_{dir} = 1,0$$

$$c_{season} = 1,0$$

II. kategorie terénu

$$z_0 = 0,05 \text{ m}$$

$$z = 9,5 \text{ m}$$

$$z_{min} = 2 \text{ m}$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

$$k_r = 0,19 \times \ln \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \times \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19 \quad (4.1.3.1.1)$$

$$c_r(z) = k_r \times \ln \frac{z}{z_0} = 0,19 \times \ln \frac{9,5}{0,05} = 0,997 \quad (4.1.3.1.2)$$

$$c_0(z) = 1,0$$

$$v_m(z) = c_t(z) \times c_0(z) \times v_b = 0,997 \times 1,0 \times 25 = 24,92 \text{ m/s} \quad (4.1.3.1.3)$$

$$I_v = \frac{1}{c_0(z) \times \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1}{1 \times \ln \frac{9,5}{0,05}} = 0,19 \quad (4.1.3.1.4)$$

$$q_p = (1 + 7 \times I_v) \times 0,5 \times \rho \times v_m \quad (4.1.3.1.5)$$

$$q_p = (1 + 7 \times 0,19) \times 0,5 \times 1,25 \times 24,92$$

$$= 906,17 \text{ N/m}^2$$

Součinitele vnějšího tlaku

$$c_{pe,10}^{F-} = -1,2$$

$$c_{pe,10}^{G-} = -0,8$$

$$c_{pe,10}^{H-} = -0,7$$

$$c_{pe,10}^{I-} = -0,2$$

$$c_{pe,10}^{I+} = 0,2$$

Součinitele vnitřního tlaku

$$c_{pi,10}^{+} = 0,2$$

$$c_{pi,10}^{-} = -0,3$$

Výsledné tlaky větru na střešní plášť

$$w_k = w_e + w_i = q_p \times (c_{pe} - c_{pi}) \quad (4.1.3.1.6)$$

$$c_{pi,10}^{+} = 0,2$$

$$w_{pe,10}^{F-} = -1,269 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pe,10}^{G-} = -0,906 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pe,10}^{H-} = -0,816 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pe,10}^{I-} = -0,362 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pe,10}^{I+} = 0,000 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{pi,10}^- = -0,3$$

$$w_{pe,10}^{F-} = -0,816 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pe,10}^{G-} = -0,453 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pe,10}^{H-} = -0,362 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pe,10}^{I-} = 0,091 \text{ kN/m}^2$$

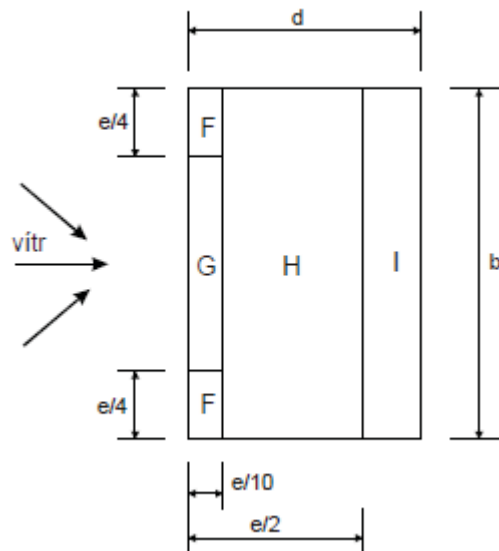
$$w_{pe,10}^{I+} = 0,453 \text{ kN/m}^2$$

Podélný vítr

$$e = \min(b; 2h) = \min(14,7; 2 \times 9,5) = 14,7 \text{ m} \quad (4.1.3.1.7)$$

Příčný vítr

$$e = \min(b; 2h) = \min(48; 2 \times 9,5) = 19 \text{ m} \quad (4.1.3.1.8)$$



Obr. 3 Oblasti působení větru na střešní konstrukci

4.1.3.2. Zatížení větrem – SO 03

II. větrná oblast

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

$$c_{dir} = 1,0$$

$$c_{season} = 1,0$$

II. kategorie terénu

$$z_0 = 0,05 \text{ m}$$

$$z = 18,15 \text{ m}$$

$$z_{min} = 2 \text{ m}$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

$$k_r = 0,19 \times \ln \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \times \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19 \quad (4.1.3.2.1)$$

$$c_r(z) = k_r \times \ln \frac{z}{z_0} = 0,19 \times \ln \frac{18,15}{0,05} = 1,12 \quad (4.1.3.2.2)$$

$$c_0(z) = 1,0$$

$$v_m(z) = c_t(z) \times c_0(z) \times v_b = 1,12 \times 1,0 \times 25 = 28,00 \text{ m/s} \quad (4.1.3.2.3)$$

$$I_v = \frac{1}{c_0(z) \times \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1}{1 \times \ln \frac{18,15}{0,05}} = 0,169 \quad (4.1.3.2.4)$$

$$q_p = (1 + 7 \times I_v) \times 0,5 \times \rho \times v_m \quad (4.1.3.2.5)$$

$$q_p = (1 + 7 \times 0,169) \times 0,5 \times 1,25 \times 28,00 = 1071,79 \text{ N/m}^2$$

Součinitele vnějšího tlaku

$$c_{pe,10}^{F-} = -1,2$$

$$c_{pe,10}^{G-} = -0,8$$

$$c_{pe,10}^{H-} = -0,7$$

$$c_{pe,10}^{I-} = -0,2$$

$$c_{pe,10}^{I+} = 0,2$$

Součinitele vnitřního tlaku

$$c_{pi,10}^{+} = 0,2$$

$$c_{pi,10}^{-} = -0,3$$

Výsledné tlaky větru na střešní plášť

$$w_k = w_e + w_i = q_p \times (c_{pe} - c_{pi}) \quad (4.1.3.2.6)$$

$$c_{pi,10}^{+} = 0,2$$

$$w_{pe,10}^{F-} = -1,501 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pe,10}^{G-} = -1,072 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pe,10}^{H-} = -0,965 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pe,10}^{I-} = -0,429 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pe,10}^{I+} = 0,000 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{pi,10}^- = -0,3$$

$$w_{pe,10}^{F^-} = -0,965 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pe,10}^{G^-} = -0,536 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pe,10}^{H^-} = -0,429 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pe,10}^{I^-} = 0,107 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{pe,10}^{I^+} = 0,536 \text{ kN/m}^2$$

Podélný vítr

$$e = \min(b; 2h) = \min(49,2; 2 \times 18,15) = 36,3 \text{ m} \quad (4.1.3.2.7)$$

Příčný vítr

$$e = \min(b; 2h) = \min(65,9; 2 \times 18,15) = 36,3 \text{ m} \quad (4.1.3.2.8)$$

4.2. Zatížení stálé [7]

Výpočet návrhové hodnoty stálého zatížení:

$$g_d = g_k \times \gamma_g \quad (4.2.1)$$

4.2.1. Zatížení stálé – SO02

4.2.1.1. Střešní plášť

Popis	Zatížení charakteristické [kN/m ²]	Součinitel zatížení	Zatížení návrhové [kN/m ²]
Trapézový plech se zateplením	0,55	1,35	0,743
Technologické podvěsy	0,25	1,35	0,334
Celkem	0,80	1,35	1,08

Tab. 1 Stálé zatížení střešního pláště SO02

4.2.1.2. Stropní konstrukce

Popis	Zatížení charakteristické [kN/m ²]	Součinitel zatížení	Zatížení návrhové [kN/m ²]
Panely SPIROLL	2,6	1,35	3,51
Dobetonávka vyztužená kari sítí	1,25	1,35	1,688
Podlaha	1,28	1,35	1,728
Celkem	5,13	1,35	6,923

Tab. 2 Stálé zatížení stropní konstrukce SO02

4.2.1.3. Svislé konstrukce

Popis	Zatížení charakteristické [kN/m ²]	Součinitel zatížení	Zatížení návrhové [kN/m ²]
Dělicí stěna, tl. 250 mm	2,50	1,35	3,375
Stěnové panely	0,133	1,35	0,18

Tab. 3 Stálé zatížení od svislých konstrukcí SO02

4.2.2. Zatížení stálé – SO03

4.2.2.1. Střešní plášť

Popis	Zatížení charakteristické [kN/m ²]	Součinitel zatížení	Zatížení návrhové [kN/m ²]
Trapézový plech se zateplením	0,55	1,35	0,743
Technologické podvěsy	0,75	1,35	1,013
Celkem	1,30	1,35	1,755

Tab. 4 Stálé zatížení střešního pláště SO03

4.2.2.2. Stropní konstrukce

Popis	Zatížení charakteristické [kN/m ²]	Součinitel zatížení	Zatížení návrhové [kN/m ²]
Stropní deska, tl. 130 mm	3,25	1,35	4,388

Tab. 5 Stálé zatížení stropní konstrukce SO03

4.3. Zatížení užité [7]

Výpočet návrhové hodnoty užitého zatížení:

$$q_d = q_k \times \gamma_q \quad (4.3.1)$$

4.3.1. Zatížení užité – SO02

Popis	Zatížení charakteristické [kN/m ²]	Součinitel zatížení	Zatížení návrhové [kN/m ²]
Střechy, kat. H	0,75	1,5	1,125
Stropy, kat. B	3,00	1,5	4,05
Přemístitelné přčky,	1,20	1,5	1,62

Tab. 6 Užitné zatížení SO02

4.3.2. Zatížení užité – SO03

Popis	Zatížení charakteristické [kN/m ²]	Součinitel zatížení	Zatížení návrhové [kN/m ²]
Střechy, kat. H	0,75	1,5	1,125
Stropy	25,00	1,5	37,50

Tab. 7 Užitné zatížení SO03

5. Zatěžovací stavy

5.1. Zatěžovací stavy – SO02

1. Zatěžovací stav – Vlastní tíha

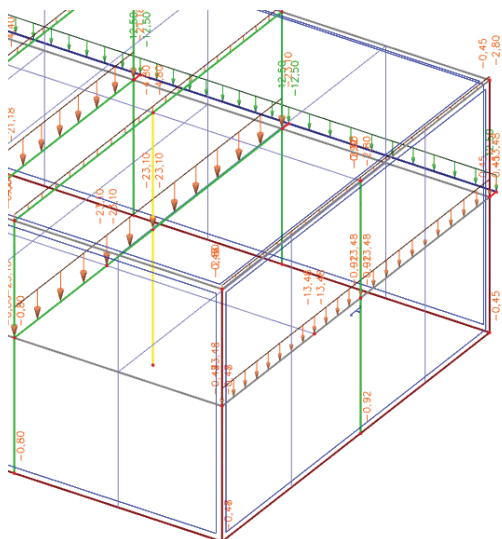
Zatížení od vlastní tíhy železobetonových nosných prvků, vypočteno softwarem SCIA [1]

2. Zatěžovací stav – Stálé zatížení

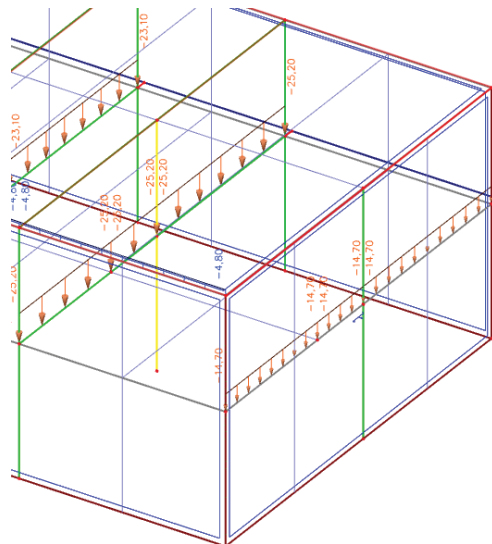
Zatížení od podlahy, dobetonávky stropních konstrukcí, střešního a stěnového pláště a dělicí stěny.

3. – 5. Zatěžovací stav – Užité zatížení

Zatížení kancelářských ploch, střechy a zatížení přemístitelnými příčkami. Rozmístěno rovnoměrně nebo v šachovnicovém systému.



Obr. 4 Stálé zatížení SO02



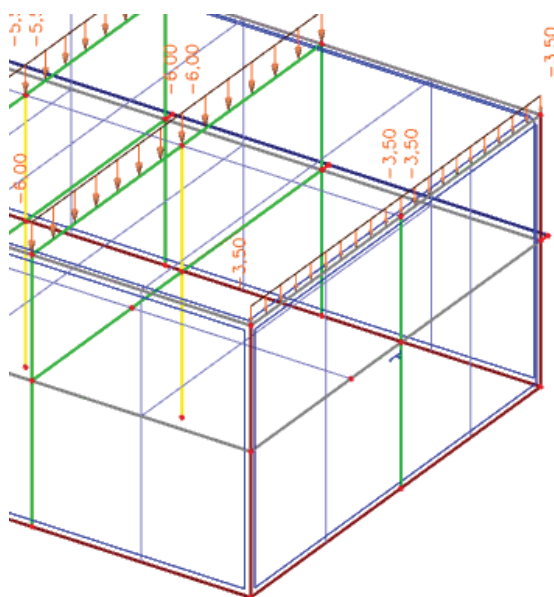
Obr. 5 Užité zatížení SO02

6. Zatěžovací stav – Sníh

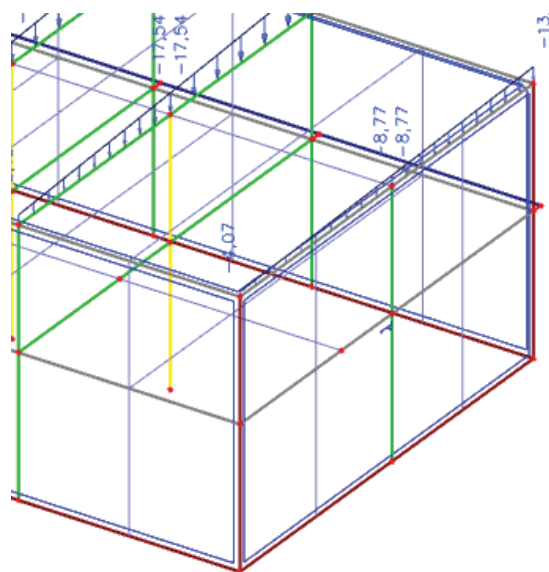
Rovnoměrné zatížení od sněhu

7. Zatěžovací stav – Navátý sníh

Zatížení od sněhu navátého k plášti SO03



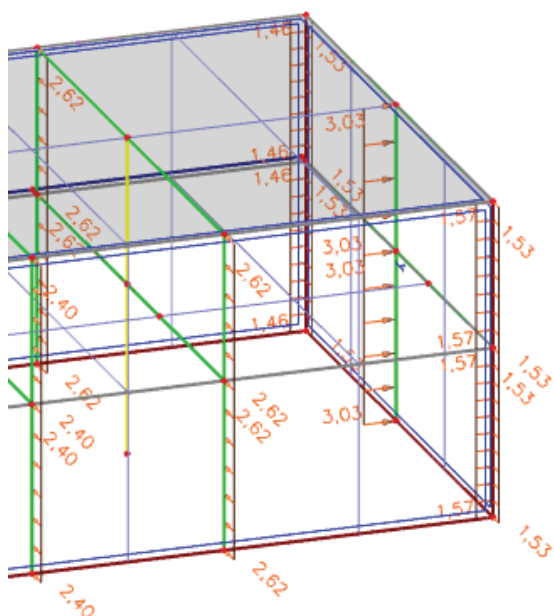
Obr. 6 Zatížení sněhem- SO02



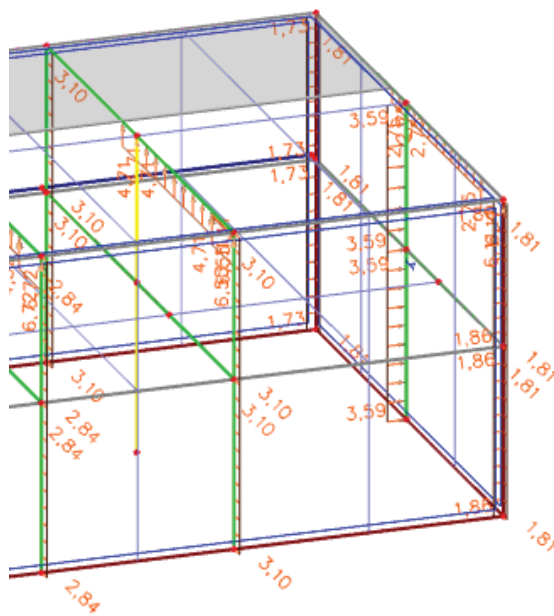
Obr. 7 Zatížení navátým sněhem - SO02

8. - 19. Zatěžovací stav – Větr

Zatížení větrem - 3 směry větru, v každém 4 kombinace



Obr. 8 Zatížení podélným větrem- SO02



Obr. 9 Zatížení příčným větrem - SO02

5.2. Zatěžovací stavy – SO03

1. Zatěžovací stav – Vlastní tíha

Zatížení od vlastní tíhy železobetonových nosných prvků, vypočteno softwarem SCIA [1]

2. Zatěžovací stav – Stálé zatížení

Zatížení od dobetonávky stropních konstrukcí a střešního a stěnového pláště.

3. – 5. Zatěžovací stav – Užité zatížení

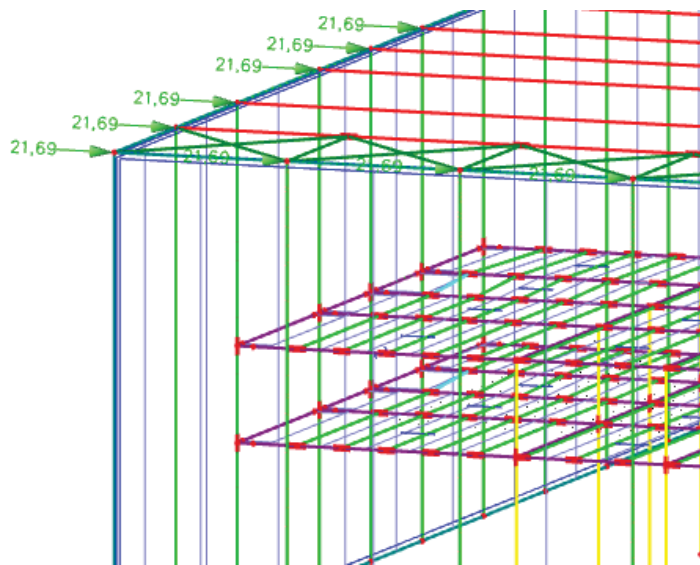
Užité zatížení podlahy, stropů a střechy. Rozmístěno rovnoměrně nebo v šachovnicovém systému.

6. Zatěžovací stav – Sníh

Rovnoměrné zatížení od sněhu.

7. Zatěžovací stav – Imperfekce

Nepříznivé účinky geometrických imperfekcí pro prvky namáhané osovým tlakem jsou uvažovány vodorovnou silou v místě, kde způsobí maximální moment.



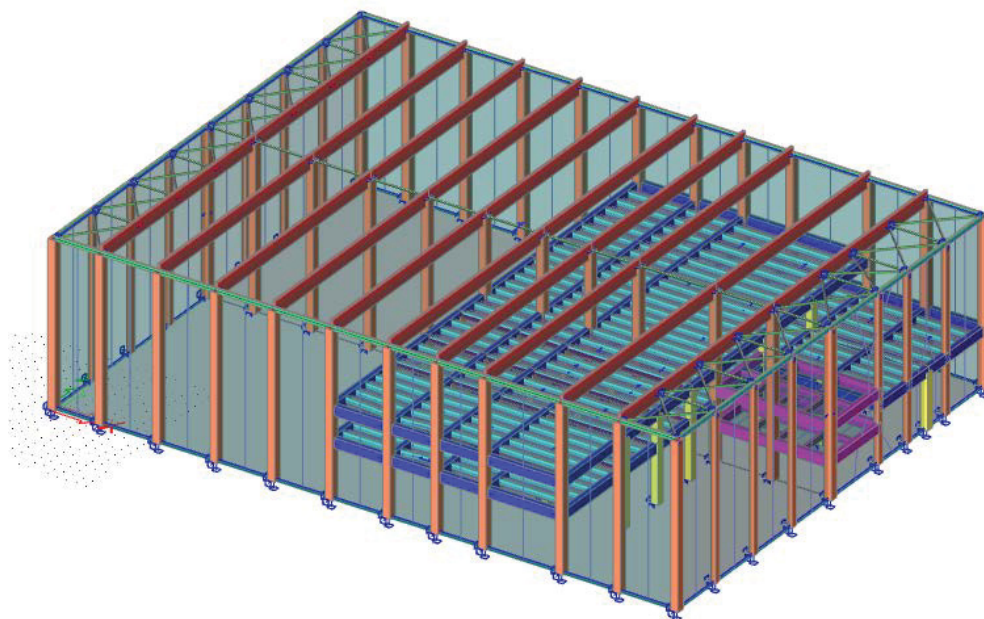
Obr. 10 Imperfekce vyjádřeny vodorovnými silami – SO03

8. - 23. Zatěžovací stav – Vítr

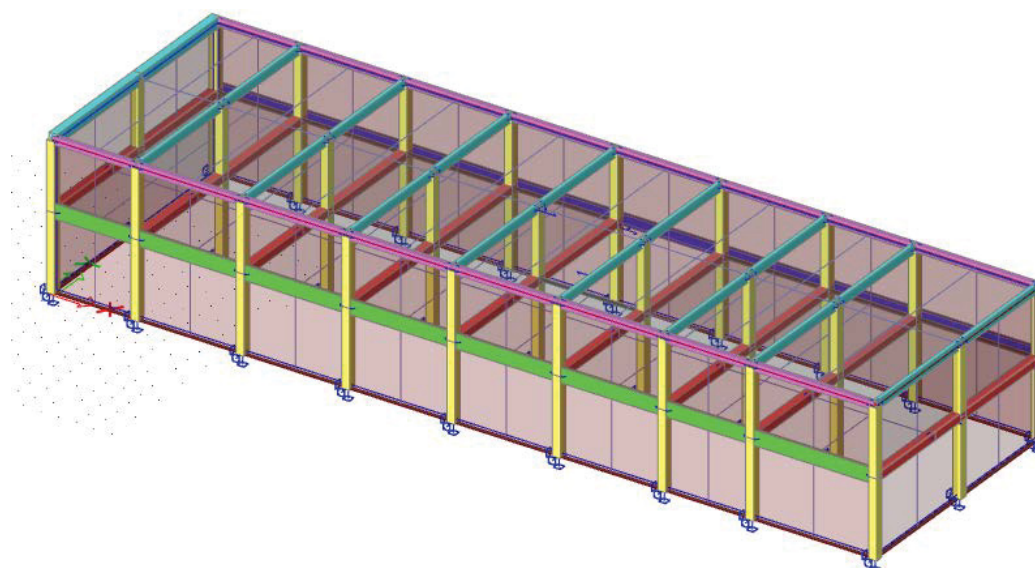
Zatížení větrem - 4 směry větru, v každém 4 kombinace

6. Model konstrukce

Model je vytvořen ve SCIA Engineer 17.1 [1], jako obecná XYZ konstrukce. Železobetonové nosné prvky i ocelová ztužidla v úrovni střechy jsou namodelovány jako prutové dílce. Plošná zatížení jsou roznášena přes zatěžovací panely. Klimatická zatížení byla vygenerována softwarem [1] a ověřena ručním výpočtem.



Obr. 11 Model SO03



Obr. 12 Model SO02

Krátká konzola pro uložení průvlaků na sloupy byla namodelována pomocí náhradního prutu. Tento prut délkově odpovídá excentricitě uložení – vzdálenosti od těžiště sloupu po ložisko pro uložení průvlaku. Materiál byl zvolen idealizovaný, s tuhostí zvýšenou o 3 řády a se zanedbatelnou hmotností.



Obr. 13 Idealizace krátké konzoly

Kombinace zatěžovacích stavů jsou vygenerovány softwarem v závislosti na daných zatěžovacích skupinách. Všechny hodnoty zadaných zatížení jsou charakteristické, součinitele zatížení byly vygenerovány pro typ kombinací EN – MSÚ (STR/GEO) soubor B. Zatěžovací skupiny byly vytvořeny pro zatížení stálé, vítr, sníh a pro užitné zatížení – kategorie C, H a E. Výpočet vnitřních sil je lineární, účinky druhého řádu jsou zahrnuty až v ručním výpočtu.

7. Návrh výztuže a statické posouzení

Železobetonové prefabrikované prvky jsou posuzovány na mezní stav únosnosti, zkontrolovány jsou také veškeré konstrukční zásady. Nachází se se uvnitř budovy s nízkou vlhkostí, je tedy uvažován stupeň vlivu prostředí XC2. Pouze základové konstrukce jsou s ohledem na agresivitu podzemní vody navrženy na vliv stupně prostředí XA2. Návrhová životnost prvků se předpokládá 50 let, jedná se tedy o třídu životnosti S4. Statický výpočet prvků je proveden dle Eurokódu 2 (ČSN EN 1992-1-1) [6], pro základové konstrukce je použit také Eurokód 7 (ČSN EN 1997-1) [10]. Jako materiál pro nadzemní konstrukce je použit beton C30/37, XC2, třída cementu R, pro základové konstrukce C25/30, XC4. Betonářská výztuž je použita B500B. Sloupy jsou posouzeny dle nelineární analýzy druhého řádu.

7.1. Materiálové charakteristiky

Beton C30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk0,05} = 2 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$\alpha_c = 1,0$$

$$\lambda = 0,8$$

$$d_g = 16 \text{ mm}$$

$$f_{cd} = \alpha_c \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \times \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa} \quad (7.1.1)$$

$$f_{ctd} = \alpha_c \times \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = 1,0 \times \frac{2}{1,5} = 1,33 \text{ MPa} \quad (7.1.2)$$

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_{cE}} = \frac{3300}{1,2} = 434,78 \text{ MPa} \quad (7.1.3)$$

Ocel B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yd} = \frac{f_k}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa} \quad (7.1.4)$$

7.2. Návrh a posouzení prvků SO03

7.2.1. Sloup

Třída konstrukce S4

Prostředí XC2

Krytí výztuže:

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}, 10) = \max(32; 20; 10) = 32 \text{ mm} \quad (7.2.1.1)$$

$$\Delta c_{dev} = 0 \sim 10 = 3 \text{ mm} \quad (7.2.1.2)$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 32 + 3 = 35 \text{ mm} \quad (7.2.1.3)$$

$$c_{sw} = 27 \text{ mm} \quad (7.2.1.4)$$

Rozměry:

$$b = 850 \text{ mm}$$

$$h = 750 \text{ mm}$$

$$A_c = b \times h = 850 \times 750 = 637500 \text{ mm}^2 \quad (7.2.1.5)$$

$$d_x = b - \left(c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} \right) = 850 - \left(35 + \frac{32}{2} \right) = 799 \text{ mm} \quad (7.2.1.6)$$

$$d_y = h - \left(c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} \right) = 750 - \left(35 + \frac{32}{2} \right) = 699 \text{ mm} \quad (7.2.1.7)$$

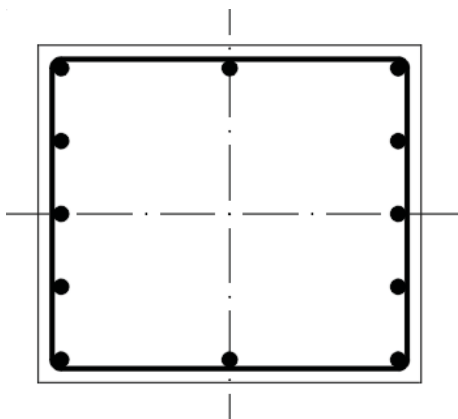
$$d_{1x} = d_{2x} = c_{nom} + \emptyset_{sw} + \frac{\emptyset}{2} = 35 + 8 + \frac{32}{2} = 59 \text{ mm} \quad (7.2.1.8)$$

$$z_{1x} = z_{2x} = \frac{h - d_{1x} - d_{2x}}{2} = \frac{850 - 59 - 59}{2} = 366 \text{ mm} \quad (7.2.1.9)$$

Návrh výztuže

$$\emptyset_{sw} = 8 \text{ mm}$$

$$\emptyset = 32 \text{ mm}$$



Obr. 14 Výztuž sloupu

$$A_{s1,x} = A_{s2,x} = \pi \times \frac{\emptyset^2}{4} \times n = \pi \times \frac{32^2}{4} \times 5 = 4021,24 \text{ mm}^2 \quad (7.2.1.10)$$

$$A_{s1,y} = A_{s2,y} = \pi \times \frac{\emptyset^2}{4} \times n = \pi \times \frac{32^2}{4} \times 3 = 2412,74 \text{ mm}^2 \quad (7.2.1.11)$$

Geometrické imperfekce

$$\theta_0 = 0,005$$

$$m = 49$$

$$\alpha_h = 0,667 \quad (7.2.1.12)$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \times \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \times \left(1 + \frac{1}{49}\right)} = 0,714 \quad (7.2.1.13)$$

$$\theta_i = \theta_0 \times \alpha_h \times \alpha_m = 0,005 \times 0,667 \times 0,714 = 0,00238 \quad (7.2.1.14)$$

$$H_i = 2 \times \theta_i \times N = 2 \times 0,00238 \times 4555 = 21,69 \text{ kN} \quad (7.2.1.15)$$

Dotvarování prvku

$$t_0 = 10 \text{ d}$$

$$h_0 = 2 \times \frac{A_c}{u} = 2 \times \frac{0,6375}{3,2} = 0,398 \text{ m} \quad (7.2.1.16)$$

$$RH = 50 \%$$

$$\varphi_{(\infty; t_0)} = 2,4$$

$$M_{0Ed} = 902 \text{ kNm}$$

$$M_{0Eqp} = 117,09 \text{ kNm}$$

$$\varphi_{ef} = \varphi_{(\infty; t_0)} \times \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}} = 2,4 \times \frac{117,09}{902} = 0,312 \quad (7.2.1.17)$$

Účinná délka prvku

$$k_l = 0,1$$

$$I_y = \frac{1}{12} \times h \times b^3 = \frac{1}{12} \times 0,75 \times 0,85^3 = 0,0383 \text{ m}^4 \quad (7.2.1.18)$$

$$EI = E \times I_y = 3,3 \times 10^{10} \times 0,0383 = 1,27 \times 10^9 \text{ Nm}^2 \quad (7.2.1.19)$$

$$k_2 = \frac{\theta}{M} \times \frac{EI}{l} = \frac{0,00238}{902000} \times \frac{1,27 \times 10^9}{16,9} = 0,198 \quad (7.2.1.20)$$

$$l_0 = 0,5 \times l \times \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45+k_1}\right) \times \left(1 + \frac{k_2}{0,45+k_2}\right)} = 0,5 \times 16,9 \times \sqrt{\left(1 + \frac{0,1}{0,45+0,1}\right) \times \left(1 + \frac{0,198}{0,45+0,198}\right)} = 10,51 \text{ m} \quad (7.2.1.21)$$

Štíhlost

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_c}} = \sqrt{\frac{0,038}{0,6375}} = 0,245 \text{ m} \quad (7.2.1.22)$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{10,51}{0,245} = 42,82 \quad (7.2.1.23)$$

Štíhlostní kritérium pro osamělé prvky

$$A = \frac{1}{1 + 0,2 \times \varphi_{ef}} = \frac{1}{1 + 0,2 \times 0,312} = 0,941 \quad (7.2.1.24)$$

$$B = \sqrt{1 + 2 \times \omega} = \sqrt{1 + 2 \times 0,137} = 1,129 \quad (7.2.1.25)$$

$$C = 0,7$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c \times f_{cd}} = \frac{4555000}{0,6375 \times 20000000} = 0,357 \quad (7.2.1.26)$$

$$\begin{aligned}\lambda_{lim} &= 20 \times A \times B \times C \times \sqrt{20} \\ &= 20 \times 0,941 \times 1,129 \times 0,7 \times \sqrt{0,357} = 8,892\end{aligned}\quad (7.2.1.27)$$

$$\begin{aligned}\lambda &> \lambda_{lim} \\ 42,82 &> 8,892\end{aligned}\quad (7.2.1.28)$$

Účinky druhého řádu nelze zanedbat. K jejich zjištění jsou použity dvě zjednodušené metody:

- Metoda založená na jmenovité tuhosti
- Metoda založená na jmenovité křivosti

7.2.1.1. Metoda založená na jmenovité tuhosti

$$k_1 = \sqrt{\frac{f_{ck}}{20}} = \sqrt{\frac{30}{20}} = 1,225 \text{ MPa} \quad (7.2.1.1.1)$$

$$k_2 = n \times \frac{\lambda}{170} = 0,357 \times \frac{42,82}{170} = 0,090 \leq 0,2 \quad (7.2.1.1.2)$$

$$K_c = \frac{k_1 \times k_2}{1 + \varphi_{ef}} = \frac{1,225 \times 0,09}{1 + 0,312} = 0,084 \quad (7.2.1.1.3)$$

$$K_s = 1$$

$$\begin{aligned}I_s &= \left(\frac{\pi \times \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^4}{2} + A_s(1) \times z_x^2 \right) \times n \\ &= \left(\frac{\pi \times \left(\frac{32}{2}\right)^4}{2} + 804,25 \times 366^2 \right) \times 5 = 5,39 \times 10^8 \text{ mm}^4\end{aligned}\quad (7.2.1.1.4)$$

$$I_c = \frac{1}{12} \times h \times b^3 = \frac{1}{12} \times 750 \times 850^3 = 3,84 \times 10^{10} \text{ mm}^4 \quad (7.2.1.1.5)$$

$$\begin{aligned}
 EI &= K_c \times E_{cd} \times I_c + K_s \times E_s \times I_s \\
 &= 0,084 \times 27500 \times 3,84 \times 10^{10} + 1 \times 200000 \\
 &\quad \times 5,39 \times 10^8 = 1,754 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2
 \end{aligned}
 \tag{7.2.1.1.6}$$

$$c_0 = 12$$

$$\beta = \frac{\pi^2}{c_0} = \frac{\pi^2}{12} = 0,822 \tag{7.2.1.1.7}$$

$$N_b = \frac{\pi^2 \times EI}{l_0^2} = \frac{\pi^2 \times 1,754 \times 10^{14}}{10,51^2} = 1,57 \times 10^7 \text{ N} \tag{7.2.1.1.8}$$

$$M_{Ed} = M_{0Ed} \times \left(1 + \frac{\beta}{\frac{N_b}{N_{Ed}} - 1} \right) \tag{7.2.1.1.9}$$

7.2.1.2. Metoda založená na jmenovité křivosti

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200000} = 0,00217 \tag{7.2.1.2.1}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{r_0} &= \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 \times d} = \frac{0,00217}{0,45 \times 0,799} \\
 &= 0,00604 \text{ m}^{-1}
 \end{aligned}
 \tag{7.2.1.2.2}$$

$$\beta = 0,35 + \frac{f_{ck}}{200} - \frac{\lambda}{150} = 0,35 + \frac{30}{200} - \frac{42,82}{150} = 0,215 \tag{7.2.1.2.3}$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \times \varphi_{ef} = 1 + 0,215 \times 0,312 = 1,067 \geq 1 \tag{7.2.1.2.4}$$

$$n_u = 1 + \omega = 1 + 0,137 = 1,137 \tag{7.2.1.2.5}$$

$$n_{bal} = 0,4$$

$$\begin{aligned}
 K_r &= \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} = \frac{1,137 - 0,357}{1,137 - 0,4} = 1,058 > 1 \\
 K_r &= 1
 \end{aligned}
 \tag{7.2.1.2.6}$$

$$\frac{1}{r} = K_r \times K_\varphi \times \frac{1}{r_0} = 1 \times 1,067 \times 0,00604 = 0,00645 \text{ m}^{-1} \quad (7.2.1.2.7)$$

$$c = 10$$

$$e_2 = \frac{\frac{1}{r} \times l_0^2}{c} = \frac{0,00645 \times 10,51^2}{10} = 0,0712 \text{ m} \quad (7.2.1.2.8)$$

$$M_2 = N_{Ed} \times e_2 \quad (7.2.1.2.9)$$

$$M_{Ed} = M_{0Ed} + M_2 \quad (7.2.1.2.10)$$

7.2.1.3. Vnitřní síly

Dle vztahů (7.2.1.1.9) je stanoven maximální moment dle metody založené na jmenovité tuhosti, a dle vztahů (7.2.1.2.9) a (7.2.1.2.10) je stanoven maximální moment dle metody založené na jmenovité křivosti.

<i>n</i>	Sloup	$M_{0Ed,y}$	N_{Ed}	$M_{Ed,y}$
		[kNm]	[kN]	[kNm]
2	B40	143	-4555	191,145
3	B27	589	-349	600,026
4	B11	811	-196	819,442
5	B16	902	-515	927,190
6	B40	523	-3210	633,706

Tab. 8 Návrhové momenty dle metody založené na jmenovité tuhosti

<i>n</i>	Sloup	N_{Ed}	M_2	$M_{0Ed,y}$	$M_{Ed,y}$
		[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
2	B40	-4555	324,35	143	467,35
3	B27	-349	24,85	589	613,85
4	B11	-196	13,96	811	824,96
5	B16	-515	36,67	902	938,67
6	B40	-3210	228,58	523	751,58

Tab. 9 Návrhové momenty dle metody založené na jmenovité křivosti

n	Sloup	N_{ed}	$M_{Ed,y}$	$M_{Ed,z}$
		[kN]	[kNm]	[kNm]
1	B11	144	-	1
2	B40	-4555	467,35	73
3	B27	-349	613,85	327
4	B11	-196	824,96	79
5	B16	-515	938,67	118
6	B40	-3210	751,58	12

Tab. 10 Návrhové momenty a normálové síly

$$V_{Ed} = 305,5 \text{ kN}$$

7.2.1.4. Interakční diagram

$$\varepsilon_{c2} = 0,002$$

$$\varepsilon_{cu2} = 0,0035$$

Bod 0 – Dostředný tlak

$$\sigma_s = E_s \times \varepsilon_s = 200000 \times 0,002 = 400 \text{ MPa} \quad (7.2.1.4.1)$$

$$N_{Rd,0} = F_c + F_s = 0,75 \times 0,85 \times 20000 + 9,65 \times 10^{-3} \times 400000 = 16\,610,39 \text{ kN} \quad (7.2.1.4.2)$$

Bod 1 – Neutrální osa prochází těžištěm výztuže

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu2}}{x} \times (x - d_{2x}) = \frac{0,0035}{0,799} \times (0,799 - 0,059) = 0,00324 \quad (7.2.1.4.3)$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,00324 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{20000} = 0,00217 \quad (7.2.1.4.4)$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \quad (7.2.1.4.5)$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,1} &= F_c + F_s = 0,8 \times x \times h \times f_{cd} + A_{s1x} \times f_{yd} \\ &= 0,8 \times 0,799 \times 0,75 \times 20000 + 4021,24 \times 10^{-6} \\ &\quad \times 434\,780 = 11\,336,36 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.2.1.4.6)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,1} &= 0,8 \times x \times h \times f_{cd} \times \left(\frac{b}{2} - 0,4 \times x \right) + A_{s1x} \times f_{yd} \times z_{1x} \\ &= 0,8 \times 0,799 \times 0,75 \times 20000 \times \left(\frac{0,85}{2} - 0,4 \times 0,799 \right) \\ &\quad + 4021,24 \times 10^{-6} \times 434780 \times 0,366 = 1987,52 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (7.2.1.4.7)$$

Bod 2 – Napětí v tažené výztuži je na mezi kluzu

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{x_{bal}} = \frac{\varepsilon_{yd}}{d_x - x_{bal}} \quad (7.2.1.4.8)$$

$$x_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu} \times d_x}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035 \times 0,799}{0,0035 + 0,00217} = 0,493 \text{ m} \quad (7.2.1.4.9)$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x_{bal}} \times (x_{bal} - d_{2x}) = \frac{0,0035}{0,493} \times (0,493 - 0,059) = 0,00308 \quad (7.2.1.4.10)$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,00308 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{20000} = 0,00217 \quad (7.2.1.4.11)$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \quad (7.2.1.4.12)$$

$$\begin{aligned} N_{Rd,2} &= F_c - F_{s1} + F_{s2} = 0,8 \times x_{bal} \times h \times f_{cd} - A_{s1x} \times f_{yd} + A_{s2x} \times f_{yd} \\ &= 0,8 \times 0,493 \times 0,75 \times 20000 - 4021,24 \times 10^{-6} \times 434780 \\ &\quad + 4021,24 \times 10^{-6} \times 434780 = 5914,44 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.2.1.4.13)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,2} &= 0,8 \times x_{bal} \times h \times f_{cd} \times \left(\frac{b}{2} - 0,4 \times x_{bal} \right) + A_{s1x} \times f_{yd} \times z_{1x} \\ &\quad + A_{s2x} \times f_{yd} \times z_{2x} \\ &= 0,8 \times 0,493 \times 0,75 \times 20000 \times \left(\frac{0,85}{2} - 0,4 \times 0,493 \right) \\ &\quad + 2 \times 4021,24 \times 10^{-6} \times 434780 \times 0,366 \\ &= 1987,52 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (7.2.1.4.14)$$

Bod 3 – Prostý ohyb

$$F_{s1} = A_{s1} \times f_{yd} = 4021,24 \times 10^{-6} \times 434780 = 1748,36 \text{ kN} \quad (7.2.1.4.15)$$

$$x = \frac{F_{s1}}{0,8 \times h \times f_{cd}} = \frac{1748,36}{0,8 \times 0,75 \times 30000} = 0,147 \text{ m} \quad (7.2.1.4.16)$$

$$N_{Rd,3} = F_c - F_{s2} = 0 \quad (7.2.1.4.17)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,3} &= F_c \times (d - 0,4 \times x) \\ &= 1748,36 \times (0,799 - 0,4 \times 0,147) \\ &= 1295,05 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (7.2.1.4.18)$$

Bod 4 – Neutrálná osa prochází těžištěm výztuže

$$N_{Rd,4} = F_{s2} = 1748,36 \text{ kN} \quad (7.2.1.4.19)$$

$$M_{Rd,4} = F_{s2} \times z_{2x} = 1748,36 \times 0,366 = 639,90 \text{ kNm} \quad (7.2.1.4.20)$$

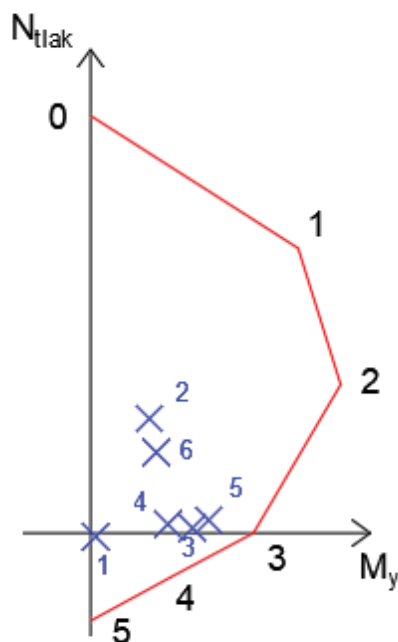
Bod 5 – Dostředný tah

$$\begin{aligned} N_{Rd,5} &= F_s = A_s \times f_{yd} = 9650,97 \times 10^{-6} \times 434780 \\ &= 3496,73 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.2.1.4.21)$$

$$M_{Rd,5} = F_{s1} \times z_{1x} - F_{s2} \times z_{2x} = 0 \quad (7.2.1.4.22)$$

n	Sloup	N_{ed}	$M_{Ed,y}$	$M_{Ed,z}$
		[kN]	[kNm]	[kNm]
1	B11	144	-	1
2	B40	-4555	467,35	73
3	B27	-349	613,85	327
4	B11	-196	824,96	79
5	B16	-515	938,67	118
6	B40	-3210	751,58	12

Tab. 11 Návrhové momenty a normálové síly



Obr. 15 Interakční diagram sloupů SO03

7.2.1.5. Dvousé namáhání ohybem

Na prvcích je uvažováno dvousé namáhání ohybem v každém směru včetně účinků druhého řádu s použitím zjednodušeného kritéria.

Určení exponentu a pro obdélníkové průřezy s lineární interpolací pro mezilehlé hodnoty

N_{Ed}/N_{Rd}	0,1	0,7	1
a	1	1,5	2

Tab. 12 Exponent a pro obdélníkové průřezy

$$\left(\frac{M_{Ed,z}}{M_{Rd,z}}\right)^a + \left(\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}}\right)^a \leq 1 \quad (7.2.1.5.1)$$

$$M_{Rd,y} = 1295,051 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,z} = 700,898 \text{ kNm}$$

$$N_{Rd} = 16\,610,39 \text{ kN}$$

n	Sloup	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	N_{Ed}/N_{Rd} [-]	a [-]	Posudek [-]	Vyhovuje
1	B11	144	42	1	0,0087	1,145	0,020	ANO
2	B40	-4555	467,3508	73	0,2742	1,000	0,465	ANO
3	B27	-349	613,8515	327	0,0210	1,000	0,941	ANO
4	B11	-196	824,9567	79	0,0118	1,000	0,750	ANO
5	B16	-515	938,6719	118	0,0310	1,000	0,893	ANO
6	B40	-3210	751,5765	12	0,1933	1,078	0,569	ANO

Tab. 13 Posouzení sloupů SO03 na dvouosý ohyb

7.2.1.6. Příčná výztuž

Návrh třmínků:

$$\varnothing_{sw} = 8 \text{ mm}$$

$$s_{sw} = 80 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

$$A_{sw} = \pi \times \frac{\varnothing_{sw}^2}{4} \times n = \pi \times \frac{8^2}{4} \times 2 = 100,53 \text{ mm}^2 \quad (7.2.1.6.1)$$

$$\begin{aligned} V_{Rd} &= A_{sw} \times \frac{1}{s_{sw}} \times z \times f_{yd} \\ &= 100,53 \times \frac{1}{80} \times 0,9 \times 699 \times 434,78 \\ &= 343,72 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.2.1.6.2)$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} &\geq V_{Ed} \\ 343,72 \text{ kN} &\geq 305,5 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.2.1.6.3)$$

Vyhovuje

7.2.1.7. Posouzení pro manipulaci [11]

1. Zatěžovací stav – Vyjímání dílce z formy

$$v_{adh,n} = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

$$F_{n1} = G_n = 18,72 \times 0,85 \times 0,75 \times 25 = 298,35 \text{ kN} \quad (7.2.1.7.1)$$

$$F_{adh,n} = v_{adh,n} \times b \times l = 2 \times 0,85 \times 18,72 = 28,08 \text{ kN} \quad (7.2.1.7.2)$$

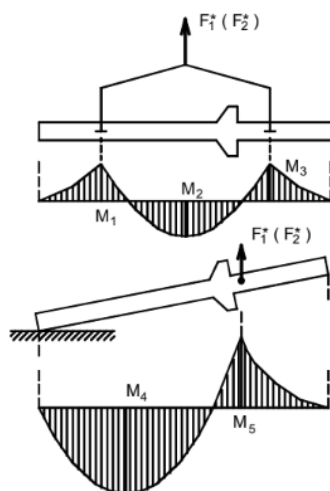
$$\begin{aligned} F_1^* &= 1,3\gamma_{fg} \times (F_{n1} + F_{adh,n}) = 1,3 \times (298,35 + 28,08) \\ &= 572,88 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.2.1.7.3)$$

2. Zatěžovací stav – doprava a montáž dílce

Maximální hodnota síly, kterou může vyvodit zvedací zařízení

$$F_{n2} = N_{max} = 300 \text{ kN} \quad (7.2.1.7.4)$$

$$F_2^* = 1,8 \times \gamma_{man} \times \gamma_{fg} \times F_{n2} = 1,8 \times 1,3 \times 1,1 \times 300 = 947,7 \text{ kN} \quad (7.2.1.7.5)$$



Obr. 16 Statické schéma při zvedání sloupu

$$M_{Ed} = M_5 = 985,61 \text{ kNm (2. ZS)}$$

$$V_{Ed} = 315,9 \text{ kN (2. ZS)}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &\geq M_{Ed} \\ 1295,05 \text{ kNm} &\geq 985,61 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (7.2.1.7.6)$$

Vyhovuje

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} &\geq V_{Ed} \\ 343,72 \text{ kN} &\geq 305,9 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.2.1.7.7)$$

Vyhovuje

7.2.1.8. Konstrukční zásady

Podélná hlavní nosná výztuž

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \times N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \times 4\,555\,000}{43} = 1275 \text{ mm}^2 \quad (7.2.1.8.1)$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times b \times h = 0,04 \times 850 \times 750 = 25\,500 \text{ mm}^2 \quad (7.2.1.8.2)$$

$$\begin{aligned} A_{s,min} < A_s < A_{s,max} \\ 1275 \text{ mm}^2 < 9650 \text{ mm}^2 < 25\,500 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (7.2.1.8.3)$$

Vyhovuje

$$\begin{aligned} \phi_{min} &\leq \phi \\ 12 \text{ mm} &< 32 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.1.8.4)$$

Vyhovuje

$$\begin{aligned} s_{min} &= \max(1,2 \times \phi; d_g + 5; 20) = \max(1,2 \times 32; 16 + 5; 20) \\ &= 38,4 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.1.8.5)$$

$$\begin{aligned} s_{min} &\leq s \\ 38,4 \text{ mm} &< 156 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.1.8.6)$$

Vyhovuje

$$\begin{aligned} s_{max} &\geq s \\ 400 \text{ mm} &> 292 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.1.8.7)$$

Vyhovuje

Kotevní délka výztuže

$$\eta_1 = 1,0$$

$$\eta_2 = 1,0$$

$$f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,93 = 4,35 \text{ MPa} \quad (7.2.1.8.8)$$

$$l_{b,req} = \frac{\emptyset}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{32}{4} \times \frac{434,78}{4,35} = 799,60 \text{ mm} \quad (7.2.1.8.9)$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,req} = 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 799,60 \\ = 799,60 \text{ mm} \doteq 800 \text{ mm} \quad (7.2.1.8.10)$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \times l_{b,req}; 10 \times \emptyset; 100) \\ = \max(0,3 \times 799,60; 10 \times 32; 100) \\ = \max(239,88; 320; 100) = 320 \text{ mm} \quad (7.2.1.8.11)$$

$$l_{b,min} \leq l_{bd} \\ 320 \text{ mm} < 800 \text{ mm} \quad (7.2.1.8.12)$$

Vyhovuje

Konstrukční zásady třmínků

$$\emptyset_{sw,min} = \max\left(\frac{\emptyset}{4}; 6\right) = \max\left(\frac{32}{4}; 6\right) = 8 \text{ mm} \quad (7.2.1.8.13)$$

$$\emptyset_{sw,min} \leq \emptyset_{sw} \\ 8 \text{ mm} \leq 8 \text{ mm} \quad (7.2.1.8.14)$$

Vyhovuje

$$s_{sw,max} = \min(15 \times \emptyset; b; h) = \min(15 \times 32; 850; 750) = 480 \text{ mm} \quad (7.2.1.8.15)$$

$$\begin{aligned} s_{sw,max} &\geq s_{sw} \\ 480 \text{ mm} &> 80 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.1.8.16)$$

Vyhovuje

7.2.2. Vazník

Třída konstrukce S4

Prostředí XC2

Krytí výztuže:

$$c_{min,sl} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}, 10) = \max(8; 20; 10) = 20 \text{ mm} \quad (7.2.2.1)$$

$$c_{min,1} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}, 10) = \max(32; 20; 10) = 32 \text{ mm} \quad (7.2.2.2)$$

$$c_{min,2} = c_{min,sw} + \emptyset_{sw} = 20 + 8 = 28 \text{ mm} \quad (7.2.2.3)$$

$$\Delta c_{dev} = 0 \sim 10 = 3 \text{ mm} \quad (7.2.2.4)$$

$$c_{nom} = c_{min,1} + \Delta c_{dev} = 32 + 3 = 35 \text{ mm} \quad (7.2.2.5)$$

$$c_{sl} = 27 \text{ mm} \quad (7.2.2.6)$$

$$A_c = 343 \text{ 000 mm} \quad (7.2.2.7)$$

$$d = h - \left(c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} \right) = 1700 - \left(35 + \frac{32}{2} \right) = 1649 \text{ mm} \quad (7.2.2.8)$$

7.2.2.1. Návrh a posouzení hlavní nosné výztuže

Návrh hlavní podélné výztuže: 3Ø32

$$A_s = n \times \frac{\pi \times \varnothing^2}{4} = 3 \times \frac{\pi \times 32^2}{4} = 2412,74 \text{ mm}^2 \quad (7.2.2.1.1)$$

$$F_s = A_s \times f_{yd} = 2412,74 \times 434,78 = 1\,049\,019 \text{ N} \quad (7.2.2.1.2)$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \times b_h \times f_{cd}} = \frac{1049019}{0,8 \times 500 \times 20} = 131,13 \text{ mm} \quad (7.2.2.1.3)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= F_s \times \left(d - \frac{x}{2}\right) = 991,65 \times \left(1,649 - \frac{0,131}{2}\right) \\ &= 1674,81 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (7.2.2.1.4)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &\geq M_{Ed} \\ 1674,81 \text{ kNm} &\geq 1516,13 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (7.2.2.1.5)$$

Vyhovuje

Průřez vyhovuje v místě maximálního momentu, je ale třeba jej také posoudit po celé délce nosníku. Vlivem tvaru sedlového vazníku se únosnost snižuje s jeho výškou, ačkoliv momenty dosahují stále významných hodnot. V posudcích na jednotlivých řezech jsou použity vztahy z posudku v místě maximálního momentu.

d_x	Výška průřezu	M_{Ed}	d	M_{Rd}	Využití	Posudek
[m]	[m]	[kNm]	[m]	[kNm]		
1	1,333	242,16	1,282	1290,17	18,77%	ANO
2	1,367	463,26	1,316	1325,137	34,96%	ANO
3	1,400	663,31	1,349	1360,104	48,77%	ANO
4	1,433	842,30	1,382	1395,072	60,38%	ANO
5	1,467	1000,23	1,416	1430,039	69,94%	ANO
6	1,500	1137,10	1,449	1465,006	77,62%	ANO
7	1,533	1252,92	1,482	1499,973	83,53%	ANO
8	1,567	1347,67	1,516	1534,941	87,80%	ANO
9	1,600	1421,37	1,549	1569,908	90,54%	ANO
10	1,633	1474,02	1,582	1604,875	91,85%	ANO
11	1,667	1505,60	1,616	1639,843	91,81%	ANO
12	1,700	1516,13	1,649	1674,81	90,53%	ANO

Tab. 14 Posouzení vazníků SO03 na ohybový moment v jednotlivých řezech

7.2.2.2. Návrh a posouzení smykové výztuže

Návrh třmínků:

$$\varnothing_{sw} = 8 \text{ mm}$$

$$s_{sw} = 240 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

$$A_{sw} = \pi \times \frac{\varnothing_{sw}^2}{4} \times n = \pi \times \frac{8^2}{4} \times 2 = 100,53 \text{ mm}^2 \quad (7.2.2.2.1)$$

$$\begin{aligned} V_{Rd} &= A_{sw} \times \frac{1}{s_{sw}} \times z \times f_{yd} \\ &= 100,53 \times 10^{-6} \times \frac{1}{0,24} \times 0,9 \times 1,249 \\ &\quad \times 434,78 \times 10^3 \times 1 = 270,21 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.2.2.2.2)$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} &\geq V_{Ed} \\ 270,21 \text{ kN} &\geq 252,7 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.2.2.2.3)$$

Vyhovuje

7.2.2.3. Mezní stav přetvoření

Deformace na vazníku nesmí nepříznivě ovlivňovat funkci nebo vzhled budovy. Mezní stav přetvoření nemusí být ověřen výpočtem průhybu, vyhovuje-li omezení poměru rozpětí k účinné výšce.

$$K = 1$$

$$\rho_0 = 10^{-3} \times \sqrt{f_{ck}} = 10^{-3} \times \sqrt{30} = 0,005 \quad (7.2.2.3.1)$$

$$\rho = 0,007$$

$$\rho' = 0$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{l}{d}\right)_{lim} &= K \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right] \\ &= 1 \left[11 + 1,5\sqrt{30} \frac{0,005}{0,007 - 0} + \frac{1}{12} \sqrt{30} \sqrt{\frac{0}{0,005}} \right] \\ &= 17,4 \end{aligned} \quad (7.2.2.3.2)$$

$$\left(\frac{l}{d}\right)_{lim} \geq \frac{l}{d} \quad (7.2.2.3.3)$$

$$17,4 \geq 14,55$$

Vyhovuje

7.2.2.4. Konstrukční zásady

Podélná hlavní nosná výztuž

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= \max \left(0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_t \times d; 0,0013 \times b_t \times d \right) \\ &= \max \left(0,26 \times \frac{2,9}{500} \times 300 \times 1649; 0,0013 \right. \\ &\quad \left. \times 300 \times 1649 \right) = 746 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (7.2.2.4.1)$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 343000 = 13\,720 \text{ mm}^2 \quad (7.2.2.4.2)$$

$$\begin{aligned} A_{s,min} &< A_s < A_{s,max} \\ 746 \text{ mm}^2 &< 2412 \text{ mm}^2 < 13\,720 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (7.2.2.4.3)$$

Vyhovuje

$$\begin{aligned} s_{min} &= \max(k_1 \times \emptyset; d_g + k_2; 20) = \max(1,2 \times 32; 16 + 5; 20) \\ &= 38,4 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.2.4.4)$$

$$\begin{aligned} s_{min} &\leq s \\ 38,4 \text{ mm} &< 67 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.2.4.5)$$

Vyhovuje

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{131,13}{1649} = 0,0795 < \xi_{lim} = 0,45 \quad (7.2.2.4.6)$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,972 \quad (7.2.2.4.7)$$

$$\begin{aligned} \xi &< \xi_{bal} \\ 0,0795 &< 0,972 \end{aligned} \quad (7.2.2.4.8)$$

Vyhovuje

Kotevní délka výztuže

$$\eta_1 = 1,0$$

$$\eta_2 = 1,0$$

$$f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,93 = 2,99 \text{ MPa} \quad (7.2.2.4.9)$$

$$l_{b,req} = \frac{\emptyset}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{32}{4} \times \frac{434,78}{2,99} = 799,60 \text{ mm} \quad (7.2.2.4.10)$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,req} = 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 799,60 \\ = 799,60 \text{ mm} \doteq 800 \text{ mm} \quad (7.2.2.4.11)$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \times l_{b,req}; 10 \times \emptyset; 100) \\ = \max(0,3 \times 799,60; 10 \times 32; 100) \\ = \max(239,88; 320; 100) = 320 \text{ mm} \quad (7.2.2.4.12)$$

$$l_{b,min} \leq l_{bd} \\ 320 \text{ mm} < 800 \text{ mm} \quad (7.2.2.4.13)$$

Vyhovuje

Konstrukční zásady třmínek

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \times b_w \times z \times v_1 \times \frac{f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta} \\ = 1 \times 0,12 \times 1,484 \times 0,6 \times \frac{20}{1 + 1} = 1068,26 \text{ kN} \quad (7.2.2.4.14)$$

$$V_{Rd,max} \geq V_{Rd,s} \\ 1068,26 \text{ kN} > 270,21 \text{ kN} \quad (7.2.2.4.15)$$

Vyhovuje

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_l \times b_w \times \sin \alpha} = \frac{100,531}{240 \times 120 \times \sin 90} = 0,0018 \quad (7.2.2.4.16)$$

$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 \times \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \times \sqrt{30}}{500} = 0,0009 \quad (7.2.2.4.17)$$

$$\begin{aligned} \rho_{sw,min} &\leq \rho_{sw} \\ 0,0009 &\leq 0,0018 \end{aligned} \quad (7.2.2.4.18)$$

Vyhovuje

$$\phi_{sw,min} = \max\left(\frac{\phi}{4}; 6\right) = \max\left(\frac{32}{4}; 6\right) = 8 \text{ mm} \quad (7.2.2.4.19)$$

$$\begin{aligned} \phi_{sw,min} &\leq \phi_{sw} \\ 8 \text{ mm} &\leq 8 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.2.4.20)$$

Vyhovuje

$$s_{t,max} = 0,75 \times d = 0,75 \times 1249 = 936,75 \text{ mm} \quad (7.2.2.4.21)$$

$$\begin{aligned} s_{t,max} &\geq s_t \\ 936,75 \text{ mm} &> 58 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.2.4.22)$$

Vyhovuje

$$\begin{aligned} s_{l,max} &= 0,75 \times d \times (1 + \cotg \alpha) = 0,75 \times 1249 \times (1 + \cotg 90) \\ &= 936,75 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.2.4.23)$$

$$\begin{aligned} s_{l,max} &\geq s_l \\ 936,75 \text{ mm} &> 240 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.2.4.24)$$

Vyhovuje

7.2.3. Průvlak

Třída konstrukce S4

Prostředí XC2

Krytí výztuže:

$$c_{min,sl} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}, 10) = \max(14; 20; 10) = 20 \text{ mm} \quad (7.2.3.1)$$

$$c_{min,1} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}, 10) = \max(32; 20; 10) = 32 \text{ mm} \quad (7.2.3.2)$$

$$c_{min,2} = c_{min,sl} + \emptyset_{sw} = 20 + 14 = 34 \text{ mm} \quad (7.2.3.3)$$

$$\Delta c_{dev} = 0 \sim 10 = 1 \text{ mm} \quad (7.2.3.4)$$

$$c_{nom} = c_{min,2} + \Delta c_{dev} = 34 + 1 = 35 \text{ mm} \quad (7.2.3.5)$$

$$c_{sl} = 21 \text{ mm} \quad (7.2.3.6)$$

$$A_c = 500\,000 \text{ mm} \quad (7.2.3.7)$$

$$d_I = h - \left(c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} \right) = 1000 - \left(35 + \frac{32}{2} \right) = 949 \text{ mm} \quad (7.2.3.8)$$

$$\begin{aligned} d_{II} &= h - \left(c_{nom} + \emptyset + s_h + \frac{\emptyset}{2} \right) = 1000 - \left(35 + 32 + 40 + \frac{32}{2} \right) \\ &= 877 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.3.9)$$

7.2.3.1. Návrh a posouzení hlavní nosné výztuže

Návrh podélné výztuže: 6+4Ø32

$$A_{s1} = n \times \frac{\pi \times \emptyset^2}{4} = 6 \times \frac{\pi \times 32^2}{4} = 4825,49 \text{ mm}^2 \quad (7.2.3.1.1)$$

$$A_{s2} = n \times \frac{\pi \times \emptyset^2}{4} = 6 \times \frac{\pi \times 32^2}{4} = 3216,99 \text{ mm}^2 \quad (7.2.3.1.2)$$

$$F_{s1} = A_{s1} \times f_{yd} = 4825,49 \times 434,78 = 2\,098\,038 \text{ N} \quad (7.2.3.1.3)$$

$$F_{s2} = A_{s2} \times f_{yd} = 3216,99 \times 434,78 = 1\,398\,692 \text{ N} \quad (7.2.3.1.4)$$

$$x = \frac{F_{s1} + F_{s2}}{\lambda \times b_h \times f_{cd}} = \frac{2098038 + 1398692}{0,8 \times 500 \times 20} = 437,09 \text{ mm} \quad (7.2.3.1.5)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= -(F_{s1} + F_{s2}) \times 0,4 \times x + F_{s1} \times d_I + F_{s2} \times d_{II} \\ &= -(2098 + 1399) \times 0,4 \times 0,525 + 2098 \times 0,949 \\ &\quad + 1399 \times 0,877 = 2606,33 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (7.2.3.1.6)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &\geq M_{Ed} \\ 2606,33 \text{ kNm} &\geq 2455,83 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (7.2.3.1.7)$$

Vyhovuje

7.2.3.2. Návrh a posouzení smykové výztuže

Návrh třmínků:

$$\varnothing_{sw} = 14 \text{ mm}$$

$$s_{sw} = 60 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

$$A_{sw} = \pi \times \frac{\varnothing_{sw}^2}{4} \times n = \pi \times \frac{14^2}{4} \times 2 = 307,88 \text{ mm}^2 \quad (7.2.3.2.1)$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} &= A_{sw} \times \frac{1}{s_{sw}} \times z \times f_{yd} \times \cot \theta \\ &= 307,88 \times 10^{-6} \times \frac{1}{0,06} \times 0,9 \times 0,949 \\ &\quad \times 434,78 \times 10^3 \times 1 = 1905,49 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.2.3.2.2)$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} &\geq V_{Ed} \\ 1905,49 \text{ kN} &\geq 1790,97 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.2.3.2.3)$$

Vyhovuje

7.2.3.3. Konstrukční zásady

Podélná hlavní nosná výztuž

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= \max \left(0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_t \times d; 0,0013 \times b_t \times d \right) \\ &= \max \left(0,26 \times \frac{2,9}{500} \times 500 \times 949; 0,0013 \right. \\ &\quad \left. \times 500 \times 949 \right) = 715,55 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (7.2.3.3.1)$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 500000 = 20\,000 \text{ mm}^2 \quad (7.2.3.3.2)$$

$$\begin{aligned} A_{s,min} &< A_s < A_{s,max} \\ 716 \text{ mm}^2 &< 9651 \text{ mm}^2 < 13\,720 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (7.2.3.3.3)$$

Vyhovuje

$$s_{min} = \max(k_1 \times \emptyset; d_g + k_2; 20) = \max(1,2 \times 32; 16 + 5; 20) = 38,4 \text{ mm} \quad (7.2.3.3.4)$$

$$\begin{aligned} s_{min} &\leq s \\ 38,4 \text{ mm} &< 47,6 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.3.3.5)$$

Vyhovuje

$$\xi = \frac{x}{d_l} = \frac{437}{949} = 0,442 < \xi_{lim} = 0,45 \quad (7.2.3.3.6)$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617 \quad (7.2.3.3.7)$$

$$\begin{aligned} \xi &< \xi_{bal} \\ 0,45 &< 0,617 \end{aligned} \quad (7.2.3.3.8)$$

Vyhovuje

Kotevní délka výztuže

$$\eta_1 = 1,0$$

$$\eta_2 = 1,0$$

$$f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,93 = 2,99 \text{ MPa} \quad (7.2.3.3.9)$$

$$l_{b,req} = \frac{\emptyset}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{32}{4} \times \frac{434,78}{2,99} = 799,60 \text{ mm} \quad (7.2.3.3.10)$$

$$\begin{aligned} l_{bd} &= \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{bd,req} = 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 799,60 \\ &= 799,60 \text{ mm} \doteq 800 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.3.3.11)$$

$$\begin{aligned}
l_{b,min} &= \max(0,3 \times l_{bd,req}; 10 \times \emptyset; 100) \\
&= \max(0,3 \times 799,60; 10 \times 32; 100) \\
&= \max(239,88; 320; 100) = 320 \text{ mm}
\end{aligned}
\tag{7.2.3.3.12}$$

$$\begin{aligned}
l_{b,min} &\leq l_{bd} \\
320 \text{ mm} &< 800 \text{ mm}
\end{aligned}
\tag{7.2.3.3.13}$$

Vyhovuje

Konstrukční zásady třmínků

$$\begin{aligned}
V_{Rd,max} &= \alpha_{cw} \times b_w \times z \times v_1 \times \frac{f_{cd}}{\cot g\theta + \tg\theta} \\
&= 1 \times 0,5 \times 0,854 \times 0,6 \times \frac{20}{1 + 1} = 2562,3 \text{ kN}
\end{aligned}
\tag{7.2.3.3.14}$$

$$\begin{aligned}
V_{Rd,max} &\geq V_{Rd,s} \\
2562,3 \text{ kN} &> 1905,5 \text{ kN}
\end{aligned}
\tag{7.2.3.3.15}$$

Vyhovuje

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_l \times b_w \times \sin\alpha} = \frac{307,87}{60 \times 500 \times \sin 90^\circ} = 0,0103
\tag{7.2.3.3.16}$$

$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 \times \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \times \sqrt{30}}{500} = 0,0009
\tag{7.2.3.3.17}$$

$$\begin{aligned}
\rho_{sw,min} &\leq \rho_{sw} \\
0,0009 &\leq 0,0103
\end{aligned}
\tag{7.2.3.3.18}$$

Vyhovuje

$$\phi_{sw,min} = \max\left(\frac{\phi}{4}; 6\right) = \max\left(\frac{32}{4}; 6\right) = 8 \text{ mm} \quad (7.2.3.3.19)$$

$$\begin{aligned} \phi_{sw,min} &\leq \phi_{sw} \\ 8 \text{ mm} &\leq 14 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.3.3.20)$$

Vyhovuje

$$s_{t,max} = 0,75 \times d = 0,75 \times 949 = 711,75 \text{ mm} \quad (7.2.3.3.21)$$

$$\begin{aligned} s_{t,max} &\geq s_{st} \\ 711,75 \text{ mm} &> 414 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.3.3.22)$$

Vyhovuje

$$\begin{aligned} s_{l,max} &= 0,75 \times d \times (1 + \cotg\alpha) = 0,75 \times 1249 \times (1 + \cotg90^\circ) \\ &= 711,75 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.3.3.23)$$

$$\begin{aligned} s_{l,max} &\geq s_{sl} \\ 711,75 \text{ mm} &> 60 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.3.3.24)$$

Vyhovuje

7.2.4. Stropní nosník

Třída konstrukce S4

Prostředí XC2

Krytí výztuže:

$$c_{min,sw} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}, 10) = \max(8; 20; 10) = 20 \text{ mm} \quad (7.2.4.1)$$

$$c_{min,1} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}, 10) = \max(32; 20; 10) = 32 \text{ mm} \quad (7.2.4.2)$$

$$c_{min,2} = c_{min,sw} + \emptyset_{sw} = 20 + 8 = 28 \text{ mm} \quad (7.2.4.3)$$

$$\Delta c_{dev} = 0 \sim 10 = 3 \text{ mm} \quad (7.2.4.4)$$

$$c_{nom} = c_{min,1} + \Delta c_{dev} = 32 + 3 = 35 \text{ mm} \quad (7.2.4.5)$$

$$c_{sw} = 27 \text{ mm} \quad (7.2.4.6)$$

$$A_c = 212\,500 \text{ mm} \quad (7.2.4.7)$$

$$d_I = h - \left(c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} \right) = 850 - \left(35 + \frac{32}{2} \right) = 799 \text{ mm} \quad (7.2.4.8)$$

$$d_{II} = h - \left(c_{nom} + \emptyset + s_h + \frac{\emptyset}{2} \right) = 850 - \left(35 + 32 + 40 + \frac{32}{2} \right) = 735 \text{ mm} \quad (7.2.4.9)$$

7.2.4.1. Návrh a posouzení hlavní nosné výztuže

Návrh podélné výztuže: 2+2Ø32

$$A_{s1} = n \times \frac{\pi \times \emptyset^2}{4} = 2 \times \frac{\pi \times 32^2}{4} = 1608,495 \text{ mm}^2 \quad (7.2.4.1.1)$$

$$A_{s2} = n \times \frac{\pi \times \emptyset^2}{4} = 2 \times \frac{\pi \times 32^2}{4} = 1608,495 \text{ mm}^2 \quad (7.2.4.1.2)$$

$$F_{s1} = A_{s1} \times f_{yd} = 1608,495 \times 434,78 = 699\,346\,N \quad (7.2.4.1.3)$$

$$F_{s2} = A_{s2} \times f_{yd} = 1608,495 \times 434,78 = 699\,346\,N \quad (7.2.4.1.4)$$

$$x = \frac{F_{s1} + F_{s2}}{\lambda \times b_h \times f_{cd}} = \frac{699346 \times 2}{0,8 \times 250 \times 20} = 349,67\,mm \quad (7.2.4.1.5)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= -(F_{s1} + F_{s2}) \times 0,4 \times x + F_{s1} \times d_I + F_{s2} \times d_{II} \\ &= -2 \times 699,35 \times 0,4 \times 0,525 + 699,35 \times 0,799 + 699,35 \times 0,735 = 877,16\,kNm \end{aligned} \quad (7.2.4.1.6)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &\geq M_{Ed} \\ 877,16\,kNm &\geq 830,53\,kNm \end{aligned} \quad (7.2.4.1.7)$$

Vyhovuje

7.2.4.2. Návrh a posouzení smykové výztuže

Návrh třmínků:

$$\varnothing_{sl} = 8\,mm$$

$$s_{sl} = 70\,mm$$

$$n = 2$$

$$A_{sw} = \pi \times \frac{\varnothing_{sl}^2}{4} \times n = \pi \times \frac{8^2}{4} \times 2 = 100,53\,mm^2 \quad (7.2.4.2.1)$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} &= A_{sw} \times \frac{1}{s_{sl}} \times z \times f_{yd} \times \cot \theta \\ &= 100,53 \times 10^{-6} \times \frac{1}{0,07} \times 0,9 \times 0,799 \\ &\quad \times 434,78 \times 10^3 \times 1 = 449,78\,kN \end{aligned} \quad (7.2.4.2.2)$$

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed} \quad (7.2.4.2.3)$$

$$449,78 \text{ kN} \geq 415,26 \text{ kN}$$

Vyhovuje

7.2.4.3. Konstrukční zásady

Podélná hlavní nosná výztuž

$$A_{s,min} = \max \left(0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_t \times d; 0,0013 \times b_t \times d \right) \quad (7.2.4.3.1)$$

$$= \max \left(0,26 \times \frac{2,9}{500} \times 250 \times 799; 0,0013 \times 250 \times 749 \right) = 301,223 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 212500 = 8500 \text{ mm}^2 \quad (7.2.4.3.2)$$

$$A_{s,min} < A_s < A_{s,max} \quad (7.2.4.3.3)$$

$$301 \text{ mm}^2 < 3217 \text{ mm}^2 < 8500 \text{ mm}^2$$

Vyhovuje

$$s_{min} = \max(k_1 \times \emptyset; d_g + k_2; 20) = \max(1,2 \times 32; 16 + 5; 20) \quad (7.2.4.3.4)$$

$$= 38,4 \text{ mm}$$

$$s_{min} \leq s \quad (7.2.4.3.5)$$

$$38,4 \text{ mm} < 116 \text{ mm}$$

Vyhovuje

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{349,67}{799} = 0,438 < \xi_{lim} = 0,45 \quad (7.2.4.3.6)$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,972 \quad (7.2.4.3.7)$$

$$\begin{aligned} \xi &< \xi_{bal} \\ 0,0795 &< 0,972 \end{aligned} \quad (7.2.4.3.8)$$

Vyhovuje

Kotevní délka výztuže

$$\eta_1 = 1,0$$

$$\eta_2 = 1,0$$

$$f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,93 = 2,99 \text{ MPa} \quad (7.2.4.3.9)$$

$$l_{b,req} = \frac{\emptyset}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{32}{4} \times \frac{434,78}{2,99} = 799,60 \text{ mm} \quad (7.2.4.3.10)$$

$$\begin{aligned} l_{bd} &= \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,req} = 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 799,60 \\ &= 799,60 \text{ mm} \doteq 800 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.4.3.11)$$

$$\begin{aligned} l_{b,min} &= \max(0,3 \times l_{b,req}; 10 \times \emptyset; 100) \\ &= \max(0,3 \times 799,60; 10 \times 32; 100) \\ &= \max(239,88; 320; 100) = 320 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.4.3.12)$$

$$\begin{aligned} l_{b,min} &\leq l_{bd} \\ 320 \text{ mm} &< 800 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.4.3.13)$$

Vyhovuje

Konstrukční zásady třmínek

$$\begin{aligned} V_{Rd,max} &= \alpha_{cw} \times b_w \times z \times v_1 \times \frac{f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} \\ &= 1 \times 0,25 \times 0,719 \times 0,6 \times \frac{20}{1 + 1} = 1078,65 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.2.4.3.14)$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,max} &\geq V_{Rd,s} \\ 1078,65 \text{ kN} &> 449,02 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.2.4.3.15)$$

Vyhovuje

$$\rho_{sl} = \frac{A_{sw}}{s_l \times b_w \times \sin \alpha} = \frac{100,53}{70 \times 250 \times \sin 90^\circ} = 0,0058 \quad (7.2.4.3.16)$$

$$\rho_{sl,min} = \frac{0,08 \times \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \times \sqrt{30}}{500} = 0,0009 \quad (7.2.4.3.17)$$

$$\begin{aligned} \rho_{sl,min} &\leq \rho_{sl} \\ 0,0009 &\leq 0,0058 \end{aligned} \quad (7.2.4.3.18)$$

Vyhovuje

$$\phi_{sl,min} = \max\left(\frac{\phi}{4}; 6\right) = \max\left(\frac{32}{4}; 6\right) = 8 \text{ mm} \quad (7.2.4.3.19)$$

$$\begin{aligned} \phi_{sl,min} &\leq \phi_{sl} \\ 8 \text{ mm} &\leq 8 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.4.3.20)$$

Vyhovuje

$$s_{t,max} = 0,75 \times d = 0,75 \times 799 = 599,25 \text{ mm} \quad (7.2.4.3.21)$$

$$\begin{aligned} s_{t,max} &\geq s_{st} \\ 599,25 \text{ mm} &> 188 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.4.3.22)$$

Vyhovuje

$$s_{l,max} = 0,75 \times d \times (1 + \cotg\alpha) = 0,75 \times 799 \times (1 + \cotg90) = 599,25 \text{ mm} \quad (7.2.4.3.23)$$

$$\begin{aligned} s_{l,max} &\geq s_l \\ 599,25 \text{ mm} &> 70 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.2.4.3.24)$$

Vyhovuje

7.3. Návrh a posouzení prvků SO02

7.3.1. Sloup

Třída konstrukce S4

Prostředí XC2

Krytí výztuže:

$$c_{min,sw} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}, 10) = \max(8; 20; 10) = 20 \text{ mm} \quad (7.3.1.1)$$

$$c_{min,1} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}, 10) = \max(25; 20; 10) = 25 \text{ mm} \quad (7.3.1.2)$$

$$c_{min,2} = c_{min,sw} + \phi_{sw} = 20 + 8 = 28 \text{ mm} \quad (7.3.1.3)$$

$$\Delta c_{dev} = 0 \sim 10 = 2 \text{ mm} \quad (7.3.1.4)$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 28 + 2 = 30 \text{ mm} \quad (7.3.1.5)$$

$$c_{sw} = 22 \text{ mm} \quad (7.3.1.6)$$

Rozměry:

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$A_c = b \times h = 500 \times 500 = 250\,500 \text{ mm}^2 \quad (7.3.1.7)$$

$$d_x = d_y = h - \left(c_{nom} + \frac{\phi}{2} \right) = 500 - \left(30 + \frac{25}{2} \right) = 458 \text{ mm} \quad (7.3.1.8)$$

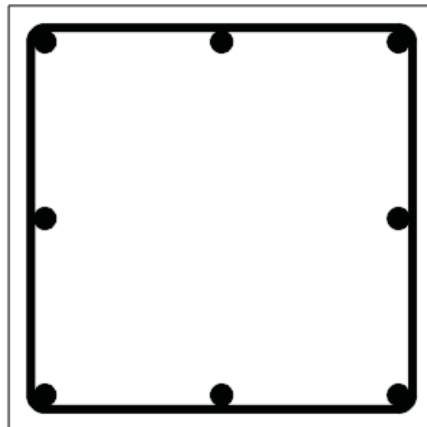
$$d_{1x} = d_{2x} = c_{nom} + \phi_{sw} + \frac{\phi}{2} = 30 + 8 + \frac{25}{2} = 50,5 \text{ mm} \quad (7.3.1.9)$$

$$z_{1x} = z_{2x} = \frac{h - d_{1x} - d_{2x}}{2} = \frac{500 - 50,5 - 50,5}{2} = 199,5 \text{ mm} \quad (7.3.1.10)$$

Návrh výztuže

$$\phi_{sw} = 8 \text{ mm}$$

$$\phi = 25 \text{ mm}$$



Obr. 17 Výztuž sloupu SO02

$$A_{s1,x} = A_{s2,x} = A_{s1,y} = A_{s2,y} = \pi \times \frac{\phi^2}{4} \times n = \pi \times \frac{32^2}{4} \times 3 = 1472,62 \text{ mm}^2 \quad (7.3.1.11)$$

7.3.1.1. Vnitřní síly

n	Sloup	N_{ed}	$M_{Ed,y}$	$M_{Ed,z}$
		[kN]	[kNm]	[kNm]
1	B37	-403	196,35	67,85
2	B43	-757	60,96	0
3	B41	-625	151,65	5,45

Tab. 15 Návrhové momenty a normálové síly sloupů SO02

$$V_{Ed} = 67 \text{ kN}$$

7.3.1.2. Interakční diagram

$$\varepsilon_{c2} = 0,002$$

$$\varepsilon_{cu2} = 0,0035$$

Bod 0 – Dostředný tlak

$$\sigma_s = E_s \times \varepsilon_s = 200000 \times 0,002 = 400 \text{ MPa} \quad (7.3.1.2.1)$$

$$N_{Rd,0} = F_c + F_s = 0,5 \times 0,5 \times 20000 + 3926,99 \times 10^{-6} \times 400000 = 6570,80 \text{ kN} \quad (7.3.1.2.2)$$

Bod 1 – Neutrálná osa prochází těžištěm výztuže

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu2}}{x} \times (x - d_{2x}) = \frac{0,0035}{0,458} \times (0,458 - 0,051) = 0,00311 \quad (7.3.1.2.3)$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,00311 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{20000} = 0,00217 \quad (7.3.1.2.4)$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \quad (7.3.1.2.5)$$

$$\begin{aligned}
N_{Rd,1} &= F_c + F_s = 0,8 \times x \times h \times f_{cd} + A_{s1x} \times f_{yd} \\
&= 0,8 \times 0,458 \times 0,5 \times 20000 + 1472,62 \times 10^{-6} \\
&\quad \times 434\,780 = 4513,69 \text{ kN}
\end{aligned} \tag{7.3.1.2.6}$$

$$\begin{aligned}
M_{Rd,1} &= 0,8 \times x \times h \times f_{cd} \times \left(\frac{b}{2} - 0,4 \times x\right) + A_{s1x} \times f_{yd} \times z_{1x} \\
&= 0,8 \times 0,458 \times 0,5 \times 20000 \times \left(\frac{0,5}{2} - 0,4 \times 0,458\right) \\
&\quad + 1472,62 \times 10^{-6} \times 434780 \times 0,2 = 415,53 \text{ kNm}
\end{aligned} \tag{7.3.1.2.7}$$

Bod 2 – Napětí v tažené výztuži je na mezi kluzu

$$\frac{\varepsilon_{cu}}{x_{bal}} = \frac{\varepsilon_{yd}}{d_x - x_{bal}} \tag{7.3.1.2.8}$$

$$x_{bal} = \frac{\varepsilon_{cu} \times d_x}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035 \times 0,458}{0,0035 + 0,00217} = 0,282 \text{ m} \tag{7.3.1.2.9}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x_{bal}} \times (x_{bal} - d_{2x}) = \frac{0,0035}{0,282} \times (0,282 - 0,051) = 0,00287 \tag{7.3.1.2.10}$$

$$\varepsilon_{s2} = 0,00287 > \varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{20000} = 0,00217 \tag{7.3.1.2.11}$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd} = 434,78 \text{ MPa} \tag{7.3.1.2.12}$$

$$\begin{aligned}
N_{Rd,2} &= F_c - F_{s1} + F_{s2} = 0,8 \times x_{bal} \times h \times f_{cd} - A_{s1x} \times f_{yd} + A_{s2x} \times f_{yd} \\
&= 0,8 \times 0,282 \times 0,5 \times 20000 - 1472,62 \times 10^{-6} \times 43478 \\
&\quad + 1472,62 \times 10^{-6} \times 434780 = 2257,70 \text{ kN}
\end{aligned} \tag{7.3.1.2.13}$$

$$\begin{aligned}
M_{Rd,2} &= 0,8 \times x_{bal} \times h \times f_{cd} \times \left(\frac{b}{2} - 0,4 \times x_{bal}\right) + A_{s1x} \times f_{yd} \times z_{1x} \\
&\quad + A_{s2x} \times f_{yd} \times z_{2x} \\
&= 0,8 \times 0,282 \times 0,5 \times 20000 \times \left(\frac{0,5}{2} - 0,4 \times 0,282\right) \\
&\quad + 2 \times 1472,62 \times 10^{-6} \times 434780 \times 0,2 = 437,30 \text{ kNm}
\end{aligned} \tag{7.3.1.2.14}$$

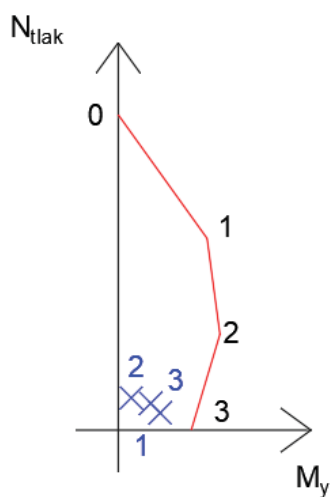
Bod 3 – Prostý ohyb

$$F_{s1} = A_{s1} \times f_{yd} = 1472,62 \times 10^{-6} \times 434780 = 640,27 \text{ kN} \quad (7.3.1.2.15)$$

$$x = \frac{F_{s1}}{0,8 \times h \times f_{cd}} = \frac{640,27}{0,8 \times 0,5 \times 20000} = 0,08 \text{ m} \quad (7.3.1.2.16)$$

$$N_{Rd,3} = F_c - F_{s2} = 0 \quad (7.3.1.2.17)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd,3} &= F_c \times (d - 0,4 \times x) \\ &= 640,27 \times (0,458 - 0,4 \times 0,08) \\ &= 272,43 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.3.1.2.18)$$



Obr. 18 Interakční diagram sloupů SO02

7.3.1.3. Dvouosé namáhání ohybem

Určení exponentu a pro obdélníkové průřezy s lineární interpolací pro mezilehlé hodnoty

N_{Ed}/N_{Rd}	0,1	0,7	1
a	1	1,5	2

Tab. 16 Exponent a pro obdélníkové průřezy

$$\left(\frac{M_{Ed,z}}{M_{Rd,z}}\right)^a + \left(\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}}\right)^a \leq 1 \quad (7.3.1.3.1)$$

$$M_{Rd,y} = 272,43 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,z} = 272,43 \text{ kNm}$$

$$N_{Rd} = 6\,570,80 \text{ kN}$$

n	Sloup	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	N_{Ed}/N_{Rd} [-]	a [-]	Posudek [-]	Vyhovuje
1	B37	402,85	196,35	67,85	0,0613	1,000	0,970	ANO
2	B43	757,21	60,96	0	0,1152	1,013	0,219	ANO
3	B41	625,19	151,65	5,45	0,0951	1,000	0,577	ANO

Tab. 17 Posouzení sloupů SO03 na dvouosý ohyb

7.3.1.4. Příčná výztuž

Návrh třmínků:

$$\varnothing_{sw} = 8 \text{ mm}$$

$$s_{sw} = 260 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

$$A_{sw} = \pi \times \frac{\varnothing_{sw}^2}{4} \times n = \pi \times \frac{8^2}{4} \times 2 = 100,53 \text{ mm}^2 \quad (7.3.1.4.1)$$

$$\begin{aligned} V_{Rd} &= A_{sw} \times \frac{1}{s_{sw}} \times z \times f_{yd} \\ &= 100,53 \times \frac{1}{260} \times 0,9 \times 457,5 \times 434,78 \\ &= 69,22 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.3.1.4.2)$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} &\geq V_{Ed} \\ 69,22 \text{ kN} &\geq 67 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.3.1.4.3)$$

Vyhovuje

7.3.1.5. Konstrukční zásady

Podélná hlavní nosná výztuž

$$A_{s,min} = \frac{0,1 \times N_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{0,1 \times 757,21}{434,78} = 174,16 \text{ mm}^2 \quad (7.3.1.5.1)$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times b \times h = 0,04 \times 500 \times 500 = 10\,000 \text{ mm}^2 \quad (7.3.1.5.2)$$

$$\begin{aligned} A_{s,min} &< A_s < A_{s,max} \\ 174,16 \text{ mm}^2 &< 3\,926,99 \text{ mm}^2 < 10\,000 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (7.3.1.5.3)$$

Vyhovuje

$$\begin{aligned}\phi_{min} &\leq \phi \\ 12 \text{ mm} &< 25 \text{ mm}\end{aligned}\quad (7.3.1.5.4)$$

Vyhovuje

$$s_{min} = \max(1,2 \times \phi; d_g + 5; 20) = \max(1,2 \times 25; 16 + 5; 20) = 30 \text{ mm} \quad (7.3.1.5.5)$$

$$\begin{aligned}s_{min} &\leq s \\ 30 \text{ mm} &< 182,5 \text{ mm}\end{aligned}\quad (7.3.1.5.6)$$

Vyhovuje

$$\begin{aligned}s_{max} &\geq s \\ 400 \text{ mm} &> 182,5 \text{ mm}\end{aligned}\quad (7.3.1.5.7)$$

Vyhovuje

Kotevní délka výztuže

$$\eta_1 = 1,0$$

$$\eta_2 = 1,0$$

$$f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,93 = 4,35 \text{ MPa} \quad (7.3.1.5.8)$$

$$l_{b,req} = \frac{\phi}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{25}{4} \times \frac{434,78}{4,35} = 624,68 \text{ mm} \quad (7.3.1.5.9)$$

$$\begin{aligned}l_{bd} &= \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{bd,req} = 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 624,68 \\ &= 624,68 \text{ mm} \doteq 620 \text{ mm}\end{aligned}\quad (7.3.1.5.10)$$

$$\begin{aligned}l_{b,min} &= \max(0,3 \times l_{bd,req}; 10 \times \phi; 100) \\ &= \max(0,3 \times 624,68; 10 \times 25; 100) \\ &= \max(239,88; 250; 100) = 250 \text{ mm}\end{aligned}\quad (7.3.1.5.11)$$

$$(7.3.1.5.12)$$

$$l_{b,min} \leq l_{bd}$$

$$250 \text{ mm} < 620 \text{ mm}$$

Vyhovuje

Konstrukční zásady třmínků

$$\phi_{sw,min} = \max\left(\frac{\phi}{4}; 6\right) = \max\left(\frac{32}{4}; 6\right) = 8 \text{ mm} \quad (7.3.1.5.13)$$

$$\begin{aligned} \phi_{sw,min} &\leq \phi_{sw} \\ 8 \text{ mm} &\leq 8 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.3.1.5.14)$$

Vyhovuje

$$s_{sw,max} = \min(15 \times \phi; b; h) = \min(15 \times 25; 500; 500) = 375 \text{ mm} \quad (7.3.1.5.15)$$

$$\begin{aligned} s_{sw,max} &\geq s_{sw} \\ 375 \text{ mm} &> 260 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.3.1.5.16)$$

Vyhovuje

7.3.2. Vazník

Třída konstrukce S4

Prostředí XC2

Krytí výztuže:

$$c_{min,sl} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}, 10) = \max(8; 20; 10) = 20 \text{ mm} \quad (7.3.2.1)$$

$$c_{min,1} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}, 10) = \max(32; 20; 10) = 32 \text{ mm} \quad (7.3.2.2)$$

$$c_{min,2} = c_{min,sw} + \emptyset_{sw} = 20 + 8 = 28 \text{ mm} \quad (7.3.2.3)$$

$$\Delta c_{dev} = 0 \sim 10 = 3 \text{ mm} \quad (7.3.2.4)$$

$$c_{nom} = c_{min,1} + \Delta c_{dev} = 32 + 3 = 35 \text{ mm} \quad (7.3.2.5)$$

$$c_{sl} = 27 \text{ mm} \quad (7.3.2.6)$$

$$A_c = 100\,000 \text{ mm}^2 \quad (7.3.2.7)$$

$$d = h - \left(c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} \right) = 500 - \left(35 + \frac{32}{2} \right) = 449 \text{ mm} \quad (7.3.2.8)$$

7.3.2.1. Návrh a posouzení hlavní nosné výztuže

Návrh hlavní podélné výztuže: 2Ø32

$$A_s = n \times \frac{\pi \times \emptyset^2}{4} = 2 \times \frac{\pi \times 32^2}{4} = 1608,5 \text{ mm}^2 \quad (7.3.2.1.1)$$

$$F_s = A_s \times f_{yd} = 1608,5 \times 434,78 = 699\,346 \text{ N} \quad (7.3.2.1.2)$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \times b_h \times f_{cd}} = \frac{699346}{0,8 \times 200 \times 20} = 207,62 \text{ mm} \quad (7.3.2.1.3)$$

$$M_{Rd} = F_s \times \left(d - \frac{x}{2} \right) = 699,346 \times \left(0,449 - \frac{0,208}{2} \right) = 255,93 \text{ kNm} \quad (7.3.2.1.4)$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &\geq M_{Ed} \\ 255,93 \text{ kNm} &\geq 247,22 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (7.3.2.1.5)$$

Vyhovuje

7.3.2.2. Návrh a posouzení smykové výztuže

Návrh třmínků:

$$\varnothing_{sw} = 8 \text{ mm}$$

$$s_{sw} = 100 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

$$A_{sw} = \pi \times \frac{\varnothing_{sw}^2}{4} \times n = \pi \times \frac{8^2}{4} \times 2 = 100,53 \text{ mm}^2 \quad (7.3.2.2.1)$$

$$\begin{aligned} V_{Rd} &= A_{sw} \times \frac{1}{s_{sw}} \times z \times f_{yd} \\ &= 100,53 \times 10^{-6} \times \frac{1}{0,1} \times 0,9 \times 0,449 \\ &\quad \times 434,78 \times 10^3 \times 1 = 176,45 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.3.2.2.2)$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} &\geq V_{Ed} \\ 176,45 \text{ kN} &\geq 155,48 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.3.2.2.3)$$

Vyhovuje

7.3.2.3. Konstrukční zásady

Podélná hlavní nosná výztuž

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= \max \left(0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_t \times d; 0,0013 \times b_t \times d \right) \\ &= \max \left(0,26 \times \frac{2,9}{500} \times 200 \times 449; 0,0013 \right. \\ &\quad \left. \times 200 \times 449 \right) = 116,74 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (7.3.2.3.1)$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 100000 = 4000 \text{ mm}^2 \quad (7.3.2.3.2)$$

$$\begin{aligned} A_{s,min} < A_s < A_{s,max} \\ 117 \text{ mm}^2 < 1609 \text{ mm}^2 < 4000 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (7.3.2.3.3)$$

Vyhovuje

$$\begin{aligned} s_{min} &= \max(k_1 \times \emptyset; d_g + k_2; 20) = \max(1,2 \times 32; 16 + 5; 20) \\ &= 38,4 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.3.2.3.4)$$

$$\begin{aligned} s_{min} &\leq s \\ 38,4 \text{ mm} &< 66 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.3.2.3.5)$$

Vyhovuje

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{208}{449} = 0,44 < \xi_{lim} = 0,45 \quad (7.3.2.3.6)$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,972 \quad (7.3.2.3.7)$$

$$\begin{aligned} \xi &< \xi_{bal} \\ 0,44 &< 0,972 \end{aligned} \quad (7.3.2.3.8)$$

Vyhovuje

Kotevní délka výztuže

$$\eta_1 = 1,0$$

$$\eta_2 = 1,0$$

$$f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,93 = 2,99 \text{ MPa} \quad (7.3.2.3.9)$$

$$l_{b,req} = \frac{\emptyset}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{32}{4} \times \frac{434,78}{2,99} = 799,60 \text{ mm} \quad (7.3.2.3.10)$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{bd,req} = 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 799,60 \\ = 799,60 \text{ mm} \doteq 800 \text{ mm} \quad (7.3.2.3.11)$$

$$l_{b,min} = \max(0,3 \times l_{bd,req}; 10 \times \emptyset; 100) \\ = \max(0,3 \times 799,60; 10 \times 32; 100) \\ = \max(239,88; 320; 100) = 320 \text{ mm} \quad (7.3.2.3.12)$$

$$l_{b,min} \leq l_{bd} \\ 320 \text{ mm} < 800 \text{ mm} \quad (7.3.2.3.13)$$

Vyhovuje

Konstrukční zásady třmínků

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \times b_w \times z \times v_1 \times \frac{f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta} \\ = 1 \times 0,12 \times 0,404 \times 0,6 \times \frac{20}{1 + 1} = 484,44 \text{ kN} \quad (7.3.2.3.14)$$

$$V_{Rd,max} \geq V_{Rd,s} \\ 484,44 \text{ kN} > 176,45 \text{ kN} \quad (7.3.2.3.15)$$

Vyhovuje

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_l \times b_w \times \sin\alpha} = \frac{100,531}{100 \times 200 \times \sin 90^\circ} = 0,00503 \quad (7.3.2.3.16)$$

$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 \times \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \times \sqrt{30}}{500} = 0,00088 \quad (7.3.2.3.17)$$

$$\rho_{sw,min} \leq \rho_{sw} \\ 0,00088 \leq 0,00503 \quad (7.3.2.3.18)$$

Vyhovuje

$$\phi_{sw,min} = \max\left(\frac{\phi}{4}; 6\right) = \max\left(\frac{32}{4}; 6\right) = 8 \text{ mm} \quad (7.3.2.3.19)$$

$$\begin{aligned} \phi_{sw,min} &\leq \phi_{sw} \\ 8 \text{ mm} &\leq 8 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.3.2.3.20)$$

Vyhovuje

$$s_{t,max} = 0,75 \times d = 0,75 \times 449 = 336,75 \text{ mm} \quad (7.3.2.3.21)$$

$$\begin{aligned} s_{t,max} &\geq s_t \\ 336,75 \text{ mm} &> 154 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.3.2.3.22)$$

Vyhovuje

$$\begin{aligned} s_{l,max} &= 0,75 \times d \times (1 + \cotg\alpha) = 0,75 \times 449 \times (1 + \cotg 90^\circ) \\ &= 336,75 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.3.2.3.23)$$

$$\begin{aligned} s_{l,max} &\geq s_l \\ 336,75 \text{ mm} &> 100 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.3.2.3.24)$$

Vyhovuje

7.3.3. Průvlak

Třída konstrukce S4

Prostředí XC2

Krytí výztuže:

$$c_{min,sl} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}, 10) = \max(8; 20; 10) = 20 \text{ mm} \quad (7.3.3.1)$$

$$c_{min,1} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}, 10) = \max(20; 20; 10) = 20 \text{ mm} \quad (7.3.3.2)$$

$$c_{min,2} = c_{min,sl} + \phi_{sw} = 20 + 8 = 28 \text{ mm} \quad (7.3.3.3)$$

$$\Delta c_{dev} = 0 \sim 10 = 2 \text{ mm} \quad (7.3.3.4)$$

$$c_{nom} = c_{min,2} + \Delta c_{dev} = 28 + 2 = 30 \text{ mm} \quad (7.3.3.5)$$

$$c_{sl} = 22 \text{ mm} \quad (7.3.3.6)$$

$$A_c = 270\,000 \text{ mm}^2 \quad (7.3.3.7)$$

$$d = h - \left(c_{nom} + \frac{\phi}{2} \right) = 600 - \left(30 + \frac{20}{2} \right) = 560 \text{ mm} \quad (7.3.3.8)$$

7.3.3.1. Návrh a posouzení hlavní nosné výztuže při horním okraji

Návrh horní podélné výztuže: 7Ø20

$$A_s = n \times \frac{\pi \times \phi^2}{4} = 7 \times \frac{\pi \times 20^2}{4} = 2199,11 \text{ mm}^2 \quad (7.3.3.1.1)$$

$$\Delta M_{Ed} = \frac{F_{Ed,sup} \times t}{8} = \frac{466,21 \times 0,5}{8} = 29,14 \text{ kNm} \quad (7.3.3.1.2)$$

$$M_{Ed,red}^- = M_{Ed}^- - \Delta M_{Ed} = 497,66 - 29,14 = 468,52 \text{ kNm} \quad (7.3.3.1.3)$$

$$F_s = A_s \times f_{yd} = 2199,11 \times 434,78 = 956\,137 \text{ N} \quad (7.3.3.1.4)$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \times b \times f_{cd}} = \frac{956137}{0,8 \times 450 \times 20} = 132,80 \text{ mm} \quad (7.3.3.1.5)$$

$$M_{Rd}^- = F_s \times \left(d - \frac{x}{2}\right) = 956,137 \times \left(0,56 - \frac{0,133}{2}\right) = 484,65 \text{ kNm} \quad (7.3.3.1.6)$$

$$M_{Rd}^- \geq M_{Ed,red}^- \\ 484,65 \text{ kNm} \geq 468,52 \text{ kNm} \quad (7.3.3.1.7)$$

Vyhovuje

7.3.3.2. Návrh a posouzení hlavní nosné výztuže při dolním okraji

Návrh dolní podélné výztuže: 4Ø20

$$A_s = n \times \frac{\pi \times \varnothing^2}{4} = 4 \times \frac{\pi \times 20^2}{4} = 1256,64 \text{ mm}^2 \quad (7.3.3.2.1)$$

$$F_s = A_s \times f_{yd} = 1256,64 \times 434,78 = 546\,364 \text{ N} \quad (7.3.3.2.2)$$

$$x = \frac{F_s}{\lambda \times b \times f_{cd}} = \frac{546364}{0,8 \times 450 \times 20} = 75,88 \text{ mm} \quad (7.3.3.2.3)$$

$$M_{Rd}^+ = F_s \times \left(d - \frac{x}{2}\right) = 546,36 \times \left(0,56 - \frac{0,076}{2}\right) = 289,38 \text{ kNm} \quad (7.3.3.2.4)$$

$$M_{Rd}^+ \geq M_{Ed}^+ \\ 289,38 \text{ kNm} \geq 265,06 \text{ kNm} \quad (7.3.3.2.5)$$

Vyhovuje

7.3.3.3. Návrh a posouzení smykové výztuže

Návrh třmínků:

$$\varnothing_{sw} = 8 \text{ mm}$$

$$s_{sw} = 60 \text{ mm}$$

$$n = 2$$

$$A_{sw} = \pi \times \frac{\varnothing_{sw}^2}{4} \times n = \pi \times \frac{8^2}{4} \times 2 = 100,53 \text{ mm}^2 \quad (7.3.3.3.1)$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} &= A_{sw} \times \frac{1}{s_{sw}} \times z \times f_{yd} \times \cot \theta \\ &= 100,53 \times 10^{-6} \times \frac{1}{0,06} \times 0,9 \times 0,56 \\ &\quad \times 434,78 \times 10^3 \times 1 = 367,16 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.3.3.3.2)$$

$$\begin{aligned} V_{Rd,s} &\geq V_{Ed} \\ 367,16 \text{ kN} &\geq 291,38 \text{ kN} \end{aligned} \quad (7.3.3.3.3)$$

Vyhovuje

7.3.3.4. Konstrukční zásady

Podélná hlavní nosná výztuž

$$\begin{aligned} A_{s,min} &= \max \left(0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_t \times d; 0,0013 \times b_t \times d \right) \\ &= \max \left(0,26 \times \frac{2,9}{500} \times 450 \times 560; 0,0013 \right. \\ &\quad \left. \times 450 \times 560 \right) = 380,02 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (7.3.3.4.1)$$

$$A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 270000 = 10\,800 \text{ mm}^2 \quad (7.3.3.4.2)$$

$$\begin{aligned} A_{s,min} &< A_s < A_{s,max} \\ 380 \text{ mm}^2 &< 2199 \text{ mm}^2 < 10\,800 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (7.3.3.4.3)$$

Vyhovuje

$$s_{min} = \max(k_1 \times \emptyset; d_g + k_2; 20) = \max(1,2 \times 20; 16 + 5; 20) = 24 \text{ mm} \quad (7.3.3.4.4)$$

$$\begin{aligned} s_{min} &\leq s \\ 24 \text{ mm} &< 41,67 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.3.3.4.5)$$

Vyhovuje

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{132}{560} = 0,237 < \xi_{lim} = 0,45 \quad (7.3.3.4.6)$$

$$\xi_{bal} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,972 \quad (7.3.3.4.7)$$

$$\begin{aligned} \xi &< \xi_{bal} \\ 0,237 &< 0,972 \end{aligned} \quad (7.3.3.4.8)$$

Vyhovuje

Kotevní délka výztuže

$$\eta_1 = 1,0$$

$$\eta_2 = 1,0$$

$$f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,93 = 2,99 \text{ MPa} \quad (7.3.3.4.9)$$

$$l_{b,req} = \frac{\emptyset}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} = \frac{20}{4} \times \frac{434,78}{2,99} = 724,64 \text{ mm} \quad (7.3.3.4.10)$$

$$\begin{aligned} l_{bd} &= \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,req} = 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 499,75 \\ &= 499,75 \text{ mm} \doteq 500 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.3.3.4.11)$$

$$\begin{aligned}
 l_{b,min} &= \max(0,3 \times l_{bd,req}; 10 \times \emptyset; 100) \\
 &= \max(0,3 \times 499,75; 10 \times 20; 100) \\
 &= \max(149,93; 200; 100) = 200 \text{ mm}
 \end{aligned}
 \tag{7.3.3.4.12}$$

$$\begin{aligned}
 l_{b,min} &\leq l_{bd} \\
 200 \text{ mm} &< 800 \text{ mm}
 \end{aligned}
 \tag{7.3.3.4.13}$$

Vyhovuje

Konstrukční zásady třmínků

$$\begin{aligned}
 V_{Rd,max} &= \alpha_{cw} \times b_w \times z \times v_1 \times \frac{f_{cd}}{\cot g\theta + \tan g\theta} \\
 &= 1 \times 0,5 \times 0,504 \times 0,6 \times \frac{20}{1 + 1} = 1360,8 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \tag{7.3.3.4.14}$$

$$\begin{aligned}
 V_{Rd,max} &\geq V_{Rd,s} \\
 1360,8 \text{ kN} &> 367,16 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \tag{7.3.3.4.15}$$

Vyhovuje

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{s_l \times b_w \times \sin \alpha} = \frac{100,53}{60 \times 450 \times \sin 90^\circ} = 0,0037
 \tag{7.3.3.4.16}$$

$$\rho_{sw,min} = \frac{0,08 \times \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \frac{0,08 \times \sqrt{30}}{500} = 0,0009
 \tag{7.3.3.4.17}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{sw,min} &\leq \rho_{sw} \\
 0,0009 &\leq 0,0037
 \end{aligned}
 \tag{7.3.3.4.18}$$

Vyhovuje

$$\phi_{sw,min} = \max\left(\frac{\phi}{4}; 6\right) = \max\left(\frac{20}{4}; 6\right) = 6 \text{ mm} \quad (7.3.3.4.19)$$

$$\begin{aligned} \phi_{sw,min} &\leq \phi_{sw} \\ 6 \text{ mm} &\leq 8 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.3.3.4.20)$$

Vyhovuje

$$s_{t,max} = 0,75 \times d = 0,75 \times 560 = 420 \text{ mm} \quad (7.3.3.4.21)$$

$$\begin{aligned} s_{t,max} &\geq s_{st} \\ 420 \text{ mm} &> 414 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.3.3.4.22)$$

Vyhovuje

$$\begin{aligned} s_{l,max} &= 0,75 \times d \times (1 + \cotg\alpha) = 0,75 \times 560 \times (1 + \cotg90^\circ) \\ &= 420 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.3.3.4.23)$$

$$\begin{aligned} s_{l,max} &\geq s_{sl} \\ 420 \text{ mm} &> 60 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.3.3.4.24)$$

Vyhovuje

7.3.4. Piloty [10]

Kalichové patky, do kterých jsou vetknuty sloupy, jsou podepřeny dvojicí pilot. Piloty jsou plovoucí vrtané železobetonové. Výpočet je proveden v softwaru GEO5 [3]. Jsou zadány 2 zatěžovací stavy – účinky reakcí. Software rozdělil na základě geometrie základových konstrukcí a geologického profilu podloží zatížení od patky na jednotlivé piloty. Piloty jsou posouzeny na svislou únosnost, kombinaci tlaku a ohybu, smyk a konstrukční zásady. Výstup ze softwaru je uveden v příloze č. 1.

8. Závěr

Na projektu výrobní haly a administrativní budovy byl proveden statický posudek železobetonových prefabrikovaných sloupů, vazníků, průvlaků a stropních nosníků, a vrtaných monolitických pilot. Byla vypočtena zatížení stálá, užitná a klimatická a rozděleny do jednotlivých zatěžovacích stavů. V druhé fázi byla provedena analýza konstrukce na bázi metody konečných prvků. Všechny prvky byly modelované jako prutové 1D konstrukce. Provedený výpočet softwarem byl lineární, pro posudky byly použity extrémní vnitřní síly nebo jejich kombinace. Sloupy byly posouzeny na kombinaci osově síly a momentu a dvouosé namáhání ohybem, v obou případech s vlivem 2. řádu, a na smyk. Vzhledem k obtížnosti určení nejhorší kombinace jich byl vybrán větší počet. Vodorovné konstrukce byly posouzeny na ohyb a smyk. Sedlový vazník z důvodu proměnné výšky byl posuzován na řezech po celé délce prutu. Piloty byly posouzeny na tlak a ohyb, smyk a svislou únosnost. Na všech prvcích byla také provedena kontrola konstrukčních zásad. Návrhy prvků jsou zobrazeny ve výkresech tvaru a výztuže vybraných prvků.

9. Zdroje

Seznam použitých softwarů

- [1] NEMETCHEK GROUP. SCIA Engineer 17.1.2029 [software]. [přístup 8. dubna 2018].
Dostupné z: <https://www.scia.net/en/>.
- [2] AUTODESK. AutoCAD 2017 21.0.52.0. [software]. [přístup 25. května 2018]. Dostupné z <http://www.autodesk.cz/products/autocad/overview>.
- [3] FINE. GEO5 – Pilota 5.2018.32.0. [software]. [přístup 14. října 2018]. Dostupné z <http://www.finne.cz>.
- [4] MICROSOFT. Microsoft Office Excel 2016. [software]. [přístup 20. listopadu 2018]
Dostupné z <https://products.office.com/cs-cz/excel>.
- [5] MICROSOFT. Microsoft Office Word 2016. [software]. [přístup 20. listopadu 2018]
Dostupné z <https://products.office.com/cs-cz/word>.

Seznam použité literatury

- [6] ČSN EN 1992-1-1. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha 2006.
- [7] ČSN EN 1991-1-1. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha 2004.
- [8] ČSN EN 1991-1-3. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. Praha, 2005.
- [9] ČSN EN 1991-1-4. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. Praha, 2007.
- [10] ČSN EN 1997-1. Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla. Praha, 2006

- [11] BAŽANT, Zdeněk, Ladislav KLUSÁČEK a Vladimír MELOUN. *Betonové konstrukce IV: montované konstrukce pozemních staveb*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2444-3
- [12] Technická zpráva a výkresová dokumentace, Firma Arpik, s.r.o.

10.Seznam příloh

Příloha 1: Posouzení skupiny pilot

Příloha 2: Výkres tvaru a výztuž vazníku SO03

Příloha 3: Výkres tvaru a výztuž sloupu SO03

Příloha 4: Výkres tvaru a výztuž průvlaku SO03